

MODELO DE INTERACCIÓN SOCIAL PARA AGENTES ARTIFICIALES EN LA ARQUITECTURA MOJANA

Héctor Andrés Pulido Mier 20081005115



Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de ingeniería

Proyecto curricular de ingeniería electrónica

Bogotá D.C - Colombia

Junio de 2015

Trabajo de grado

Requisito para optar por el título de Ingeniero Electrónico

Héctor Andrés Pulido Mier 20081005115

Director:

Miguel Alberto Melgarejo Rey, MSc

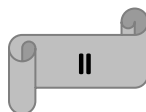
Profesor Asociado Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Ingeniería – Laboratorio de automática e inteligencia computacional

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de ingeniería

Bogotá D.C - Colombia



Nota de aceptación

Firma del Jurado

Firma del Director de Trabajo de Grado

Bogotá D.C - Junio 2015

*Dedico este trabajo a mis magníficos padres, Héctor y Lucy,
a mi hermanita y ejemplo Luisa,
y a mi linda novia Carito,
sin su apoyo este y ninguno de mis proyectos hubiese salido adelante..*

Resumen

Este libro reúne el desarrollo de un trabajo de grado realizado bajo la modalidad de monografía en el grupo de investigación LAMIC (Laboratorio de automática e inteligencia computacional) desde mediados del año 2014 hasta mediados del año 2015, por parte de un aspirante al título de ingeniero electrónico.

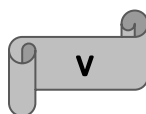
Del interés en el área de la inteligencia artificial, ha surgido la idea de realizar una simulación que lleve consigo los principios de la inteligencia colectiva.

El trabajo presentado básicamente se realizó con el fin de incluir un modelo de interacción social entre agentes en una arquitectura de agentes artificiales llamada MOJANA, desarrollada por el profesor y director de este trabajo Miguel Alberto Melgarejo, Paula Andrea Villegas y Edwin Robert Pérez [16].

Para poder llevar a cabo este trabajo de grado fue necesario un estudio detallado de los sistemas complejos y de las dinámicas que de dichos sistemas emergen, ya que la clave de estos y el por qué en ocasiones pueden reflejar ciertos aspectos de la realidad es la emergencia que se da en ellos, cuando se programan un par de reglas a nivel micro para poder ver un resultado a nivel macro.

Los sistemas de interacción social entre agentes están fuertemente ligados a los conceptos de sistemas de múltiples agentes y de autómatas celulares, a la inteligencia colectiva y al surgimiento de dinámicas colectivas.

Para entender algunas de las dinámicas aquí explicadas se hace necesario profundizar en el estudio de los comportamientos de algunos animales como las hormigas y los rebaños de ovejas, de igual forma en los flockings y la inteligencia artificial, sin dejar de lado el estudio de algunos artículos de las ciencias sociales en el que están descritos comportamientos humanos que hacen parte de las reglas que poseerán cada uno de los agentes del modelo de interacción social entre agentes que será incluido en la arquitectura MOJANA.



Agradecimientos

Primeramente agradezco a Dios por ayudarme a lo largo de toda mi vida, por brindarme todo lo que necesito para salir adelante, y por darme la fuerza para poder superarme día a día.

Agradezco a mis padres quienes me han apoyado en cada decisión que he tomado y los que han hecho que mi paso por la vida sea más fácil, con su amor y comprensión han logrado que me forme como un futuro profesional y hombre de bien.

Agradezco a mi hermanita la cual con su rectitud y buen ejemplo ha hecho que tenga un modelo a seguir, alguien a quien quiera imitar.

Agradezco al profesor Miguel Melgarejo quien con su sabiduría, experiencia y guía me ha ayudado en esta etapa definitiva de mi carrera, así como también doy gracias a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por formarme como profesional.

Finalmente agradezco a las personas que a lo largo de mi carrera me apoyaron y me dieron una mano y una motivación para salir adelante. Este trabajo con el cual culmino mis estudios de pregrado, es en gran parte el esfuerzo de muchas personas que estuvieron detrás de mí y no me dejaron caer en momentos de dificultad.

Tabla de contenido

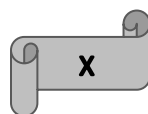
Introducción.....	1
1.1. Contexto general.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	1
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Solución propuesta	3
1.5. Contenido del libro.....	4
Marco de referencia	5
2.1. Sistemas Complejos.....	5
2.2. Sistemas Multiagentes.....	5
2.3. Autómatas celulares	6
2.4. Sistemas de interacción social entre agentes.....	7
2.4.1. Inteligencia Colectiva.....	9
2.5. Arquitectura MOJANA	11
2.5.1. Descripción de la zona de estudio	12
2.5.2. Descripción de la arquitectura de MOJANA.....	12
2.5.3. Análisis evolutivo de MOJANA	14
2.6. Protocolo estándar para la descripción de modelos basados en agentes ODD	16
2.6.1. Propósito	16
2.6.2. Las variables de estado y escalas.....	16
2.6.3. Visión general y planificación de procesos.....	17
2.6.4. Los conceptos de diseño	17
2.6.5. Inicialización	17
2.6.6. Entrada.....	18
2.6.7. Sub modelos	18
Características de los modelos de interacción social entre agentes.	19
3.1. Factor social “capacidad de asocio”	19
3.2. Reproducción.....	19
3.3. Mortalidad	20

3.4. Riqueza	20
Modelos de interacción social entre agentes	21
4.1. Modelo de optimización por colonia de hormigas	21
4.2. Modelo de vacas codiciosas y vacas cooperativas	24
Diseño del modelo de interacción social entre agentes	28
5.1. Características de los modelos de interacción social entre agentes que serán incluidos en la arquitectura MOJANA	28
5.2. Modelo 1 de interacción social entre agentes con dinámica de cooperación y competencia	30
5.3. Modelo 2 de interacción social entre agentes con dinámica de cooperación y competencia	32
Implementación del diseño	35
6.1. Información general	35
6.1.1. Propósito	35
6.1.2. Variables y escalas de estado	35
6.1.3. Visión general y planificación de procesos	36
6.2. Conceptos de diseño	38
6.3. Detalles	39
6.3.1. Inicialización	39
6.3.2. Entrada	41
6.3.3. Submodelos	41
Análisis de resultados	43
Conclusiones y trabajo futuro	56
8.1. Conclusiones	56
8.2. Aportes originales	56
8.3. Trabajo futuro	57
Anexos	58
Bibliografía	75

Lista de figuras

Figura 1. Tipo de vecindad para autómatas celulares. (a) Tipo Von Neumann, (b) Tipo Moore. Tomado de [26]	6
Figura 2. Estructura jerárquica de MOJANA. Tomada de [16].....	13
Figura 3. Tipos de agentes en MOJANA. Tomado de [16].....	14
Figura 4. Pseudocódigo de factor social en modelo de optimización por colonia de hormigas	22
Figura 5. Pseudocódigo de reproducción en modelo de optimización por colonia de hormigas.....	23
Figura 6. Pseudocódigo de mortalidad en modelo de optimización por colonia de hormigas	23
Figura 7. Pseudocódigo de riqueza en modelo de optimización por colonia de hormigas	24
Figura 8. Pseudocódigo de factor social en modelo de vacas codiciosas y cooperativas	26
Figura 9. Pseudocódigo de reproducción en modelo de vacas codiciosas y cooperativas.....	26
Figura 10. Pseudocódigo de mortalidad en modelo de vacas codiciosas y cooperativas	27
Figura 11. Pseudocódigo de riqueza en modelo de vacas codiciosas y cooperativas	27
Figura 12. Pseudocódigo de reproducción que se implementará en el modelo de interacción social entre agentes de MOJANA	28
Figura 13. Pseudocódigo de mortalidad que se implementará en el modelo de interacción social entre agentes de MOJANA	29
Figura 14. Pseudocódigo de riqueza que se implementará en el modelo de interacción social entre agentes de MOJANA	30
Figura 15. Reglas de comportamientos de los agentes según su clase para el modelo de interacción entre agentes 1. (a) Agente clase baja en estado competitivo, (b) Agente clase baja en estado cooperativo, (c) Agente clase media en estado competitivo, (d) Agente clase media en estado cooperativo, (e) Agente clase alta en estado competitivo, (f) Agente clase alta en estado cooperativo	32
Figura 16. Reglas de comportamientos de los agentes según su clase para el modelo de interacción entre agentes 2. (a) Agente clase baja en estado competitivo, (b) Agente clase baja en estado cooperativo, (c) Agente clase media en estado competitivo, (d) Agente clase media en estado cooperativo, (e) Agente clase alta en estado competitivo, (f) Agente clase alta en estado cooperativo	34
Figura 17. Arquitectura MOJANA sin modelos de interacción social entre agentes	44
Figura 18. Primer modelo de interacción social entre agentes incluido en MOJANA	44
Figura 19. Segundo modelo de interacción social entre agentes incluido en MOJANA.....	45
Figura 20. Riqueza media de los agentes para la arquitectura MOJANA sin inclusión de nuevos modelos	46
Figura 21. Riqueza media de los agentes para el modelo de interacción entre agentes 1 en MOJANA	46
Figura 22. Riqueza media de los agentes para el modelo de interacción entre agentes 2 en MOJANA	47
Figura 23. Agentes con actitud de competencia para el modelo de interacción entre agentes 1 en MOJANA.....	48

Figura 24. Agentes con actitud de competencia para el modelo de interacción entre agentes 2 en MOJANA	48
Figura 25. Agentes con actitud de colaboración para el modelo de interacción entre agentes 1 en MOJANA	49
Figura 26. Agentes con actitud de colaboración para el modelo de interacción entre agentes 2 en MOJANA	49
Figura 27. Histograma de Clase Baja para la arquitectura MOJANA sin modelos de interacción social entre agentes	50
Figura 28. Histograma de Clase Media para la arquitectura MOJANA sin modelos de interacción social entre agentes	51
Figura 29. Histograma de Clase Alta para la arquitectura MOJANA sin modelos de interacción social entre agentes	51
Figura 30. Histograma de Clase Baja para el primer modelo de interacción social entre agentes incluido en MOJANA	52
Figura 31. Histograma de Clase Media para el primer modelo de interacción social entre agentes incluido en MOJANA	52
Figura 32. Histograma de Clase Alta para el primer modelo de interacción social entre agentes incluido en MOJANA	53
Figura 33. Histograma de Clase Baja para el segundo modelo de interacción social entre agentes incluido en MOJANA	53
Figura 34. Histograma de Clase Media para el segundo modelo de interacción social entre agentes incluido en MOJANA	54
Figura 35. Histograma de Clase Alta para el segundo modelo de interacción social entre agentes incluido en MOJANA	54
Figura 36. Panel de control de MOJANA	73
Figura 37. MOJANA previo a una simulación	73
Figura 38. MOJANA luego de 1000 ticks de simulación	74



Lista de tablas

Tabla 1. Algunos ejemplos de enjambres en la naturaleza, tomado de [45].....	11
Tabla 2. Atributos de los agentes en MOJANA. Tomado de [16].....	14
Tabla 3. Los siete elementos del protocolo ODD, agrupados en los diferentes bloques	16
Tabla 4. Diferentes tipos y clases de agentes en MOJANA	37
Tabla 5. Controles y rangos arquitectura MOJANA con modelo de interacción social entre agentes	39
Tabla 6. Configuración inicial de los Modelos simulados	43

Capítulo 1

Introducción

1.1. Contexto general

Los modelos de interacción social permiten simular situaciones que se asemejan a la realidad, ya que por medio de la inteligencia computacional se pueden dar aproximaciones a modelos que llevan dinámicas colectivas inmersas en ellos [21].

Particularmente estos modelos pueden simular escenarios en los cuales no se tienen los suficientes datos para poder tener una estadística que muestre cierta dinámica en situaciones tales como la que inspiró el trabajo base de este documento denominado MOJANA (Modelo Organizacional Jerárquico de Agentes Naturales del Agua) [16].

MOJANA es un modelo de simulación hídrica y organizacional que se inspiró en la eco región de la Mojana ubicada en la parte norte de Colombia, caracterizada por ser una zona de humedales productivos, perteneciente a la Depresión Momposina, con la función ambiental de regular los cauces de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge, amortiguar las inundaciones y facilitar la decantación y acumulación de sus sedimentos. Su población presenta altos índices de pobreza y alta dependencia de la explotación de los recursos naturales del suelo y el agua. Sin embargo, posee una oferta ambiental que al desarrollarla en forma integral y planificada puede potenciar el desarrollo económico, social y cultural de la región [50].

Para la construcción de un modelo de interacción social entre agentes se requiere un estudio detallado de los sistemas Multiagentes en los que por medio de simples reglas a nivel individual se pueden llegar a formar complejas dinámicas colectivas [1], de los autómatas celulares en los que se pueden estudiar fenómenos con cierta homogeneidad pero que no por esto manejan una dinámica sencilla [9], y de la hibridación de dichos sistemas sumados al estudio de comportamientos macro de organismos como los seres vivos en general, se puede llegar a construir un modelo de interacción social que refleje cierta dinámica colectiva que pueda servir para estudios poblacionales.

1.2. Planteamiento del problema

La constante búsqueda de respuestas del hombre a diversas situaciones que se le presentan ha hecho que éste se pregunte qué pasaría en determinados casos, en donde unos distan de los otros en variaciones del ambiente o como tal de la situación. Estos casos se presentan en el mundo real con cierta regularidad pero en ocasiones no con la suficiente como para calcular estadísticas acerca del fenómeno estudiado. A partir de esto surge la necesidad de crear simulaciones en mundos virtuales en los que se puedan analizar estas situaciones con la regularidad necesaria para un análisis estadístico, cabe aclarar que estas estadísticas están basadas en una idea general de la realidad y no necesariamente arrojan una verdad absoluta de las situaciones estudiadas, simplemente llevan a hacerse preguntas e interrogantes acerca de qué pasaría si se implementaran estas posibles soluciones en una situación real [34].

Uno de los problemas que surgen al intentar simular cualquier situación que tenga comportamientos colectivos inmersos en ella es precisamente el hecho de la heterogeneidad de los individuos que hacen parte de la misma [30]. Éste tipo de problema ha sido campo de investigación en el área de las ciencias de la complejidad e intenta ser resuelto a través de los Sistemas Multiagentes [1]. Esto se puede ver ejemplificado en trabajos como: Control Inspirado biológicamente para tareas Multiagentes autoadaptables [2], sistemas dinámicos de flocking de aves [3], coordinación para la movilidad y parqueo de robots [4], algoritmos colaborativos de reconocimiento autónomo de robots [5] y domótica [6-8], entre otros.

Por otra parte está el hecho de que en la realidad los ambientes cambian por lo tanto también estos mundos virtuales deberían tener la posibilidad de cambio. Con el fin de reflejar esto se requiere un mecanismo de modelamiento en el que se puedan modificar sus características de forma dinámica y que ofrezca cierta homogeneidad en su comportamiento tal es el caso de los Automatas Celulares [9].

Si se quieren analizar los sistemas que tienen comportamientos emergentes es necesario combinar técnicas de simulación tales como los sistemas Multiagentes y los autómatas celulares. La hibridación de estos da como resultado una aproximación a situaciones de la vida real en donde los comportamientos colectivos interactúan directamente con un ambiente que se encuentra en constante cambio lo cual lleva al surgimiento de comportamientos emergentes y sistemas dinámicos que pueden ser estudiados a través de señales extraídas propiamente del sistema [34]. Como se puede evidenciar en trabajos anteriores que han tratado el tema de la hibridación desde distintos enfoques como por ejemplo el tráfico vehicular [10], situaciones de evacuación de emergencia [11], utilización del suelo en el campo agrícola [12], enfermedades provocadas por virus [13], invasión de insectos en campos forestales [14].

Los modelos de simulación social que utilizan como herramienta de modelado la hibridación de los sistemas Multiagentes con los Automatas Celulares reflejan una aproximación a la realidad tal es el caso del modelo de simulación en NetLogo [15] denominado MOJANA (Modelo Organizacional Jerárquico de Agentes Naturales del Agua) [16], en esta arquitectura de simulación se pueden ver comportamientos emergentes sin embargo este modelo no presenta un esquema de modelado social ya que los agentes no interactúan de forma directa entre sí.

El lugar de estudio sobre el cual está inspirada la construcción de la arquitectura MOJANA es precisamente la región que lleva por nombre Mojana esta eco-región está siendo afectada debido a un mal uso de su territorio al cual se le adiciona la construcción de obras civiles y un inadecuado manejo de las cuencas de los ríos que confluyen en el delta hídrico generando así desequilibrios ambientales como daños en el complejo cenagoso y fluvial [16].

Para obtener nuevos resultados y contrastarlos con la realidad es necesario incluir en los modelos de simulación todos los posibles mecanismos o herramientas virtuales que asemejen comportamientos e interacciones humanas, tales como competencia y cooperación entre agentes [21]. Realizando una revisión parcial de la literatura, se hallan trabajos que incluyen esta idea en sus modelos de simulación como se puede ver en la interacción perro de pastoreo y ovejas [17], presa y depredador [18], aves y bichos [19], equipo de agentes robóticos que juegan fútbol [20], cadenas de mercadeo [21], por mencionar algunos.

Teniendo en cuenta el marco anterior surge entonces la pregunta que se busca resolver con este trabajo ¿Cómo sería una primera versión de un modelo de interacción social entre agentes que se incluirá en la arquitectura MOJANA desarrollada en la herramienta computacional NetLogo?

Contar con un modelo de simulación de interacción social entre agentes en un mundo virtual controlado serviría de ayuda para todos aquellos interesados en las áreas que están relacionadas con las ciencias de la complejidad, tal es el caso del Laboratorio de automática e inteligencia computacional LAMIC en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Instituto geofísico de la Universidad Javeriana, el Grupo SISTEMIC de la Universidad de Antioquia, el Grupo de Investigación GIICOM de la Universidad Tecnológica de Panamá, el Grupo PSI de la Universidad del Valle, el Grupo GICO de la universidad del Cauca, el Grupo de Investigación GIIC de la Universidad Nacional de Colombia.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Desarrollar y simular un modelo de interacción social entre agentes artificiales para ser incluido en la arquitectura MOJANA.

1.3.2. Objetivos específicos

- Comparar dos modelos de interacción social entre agentes uno de competencia y otro de cooperación por medio de cuatro indicadores de interés propuestos en la literatura (Reproducción, Mortalidad, Economía, Factor social “capacidad de asocio”).
- Diseñar un modelo que permita simular la interacción de competencia y cooperación entre agentes teniendo presente los dos modelos comparados previamente.
- Implementar el modelo en NetLogo sobre MOJANA.
- Validar la implementación del modelo por medio de la simulación de dos situaciones, en las cuales se tenga en cuenta la competencia entre agentes y la cooperación entre estos.

1.4. Solución propuesta

A partir del planteamiento del problema de la sección 1.2. se propuso realizar un modelo de interacción social entre agentes para ser incluido en la arquitectura MOJANA, con el fin de estudiar los comportamientos emergentes a nivel macro del sistema con el modelo incluido y contrastarlo con este cuando no tenía inmerso dicho modelo.

Cada agente del modelo está configurado con ciertas reglas que lo caracterizan y son propias de los sistemas de interacción social entre agentes reportados en la literatura, se configuraron de forma individual según la clase a la que pertenecían y se le dieron ciertas reglas que solo regían esa clase, esto con el objetivo de ver que sucedía a nivel macro con el sistema cuando se colocaban a interactuar las diferentes clases sociales que hacían parte de MOJANA en principio.

1.5. Contenido del libro

Este documento se divide esencialmente en 4 partes las cuales tienen cada una de ellas un capítulo del libro dedicado. La primera parte muestra la investigación que se llevó a cabo para determinar cuáles eran los puntos en común que tenían los modelos de interacción social entre agentes reportados en la literatura, para lo cual se hizo una investigación profunda en revistas indexadas de ingeniería como IEEE, ScienceDirect entre otras.

La segunda parte muestra el diseño del modelo de interacción social entre agentes que se planteó en base a la investigación previamente realizada.

Como tercera partera del libro se tiene la implementación del modelo sobre la arquitectura MOJANA realizada en el software libre de simulación NetLogo.

La cuarta parte muestra el análisis de resultados y una comparación entre el modelo original y los modelos que surgieron luego de la implementación realizada en la tercera parte del libro.

Adicionalmente el documento cuenta con los respectivos anexos que muestran el paso a paso de cómo se fue construyendo el modelo en NetLogo, el trabajo previo a la realización del libro, las conclusiones y trabajo futuro que se pueden desglosar luego de la realización de este proyecto. Cabe aclarar que las partes anteriormente mencionadas no están estrictamente definidas por capítulos en ese orden en que se acaban de presentar, ya que el primer capítulo del libro muestra la introducción al problema, el planteamiento del mismo y la solución propuesta, pero básicamente esas son las 4 partes en que está dividido este documento.

Capítulo 2

Marco de referencia

En este capítulo se presentan los conceptos teóricos abarcados en el planteamiento del problema, y que dan un lineamiento para su solución. En primer lugar se realizará una descripción de los sistemas complejos para poder entender generalmente el marco en el que va a estar contextualizado el documento, luego se tiene una definición de los sistemas Multiagentes y autómatas celulares, luego se entrará más en materia de interés con los sistemas de interacción social entre agentes y las dinámicas de inteligencia colectiva, para luego cerrar el capítulo con una definición detallada de la arquitectura MOJANA y de la eco región de la Mojana que inspiró dicho modelo, como anexo a este capítulo se incluirá el protocolo estándar para la descripción de modelos basados en agentes con el cual se describirá la implementación del modelo desarrollado en este documento.

2.1. Sistemas Complejos

El autor Bar-Yam ha definido complejidad como una medida de la cantidad de información necesaria para describir el comportamiento de un sistema complejo [22]. Por su parte un sistema complejo es definido como un sistema formado por muchos componentes cuyo comportamiento es emergente, presentando estructuras y organizaciones complejas debido a esta propiedad.

Algunas de las propiedades más importantes de un sistema complejo son:

- Elementos (y su cantidad)
- Interacciones (y sus conexiones)
- Formación/Operación (y sus escalas de tiempo)
- Diversidad/variabilidad
- Entorno (y su demanda)
- Actividades (y sus objetivos)

Para comprender un poco más las dimensiones que puede abarcar un sistema complejo basta con ver alrededor y analizar cómo ciertas estructuras se comportan en el tiempo tal es el caso del clima, la formación de las galaxias, el cerebro, el ADN, la forma en que operan los ecosistemas, gobiernos y familias [23].

2.2. Sistemas Multiagentes

Primero que todo se definirá que es un agente y las características que lo rigen, luego se definirá que es un sistema de múltiples agentes y como se dan las interacciones de los agentes dentro del sistema.

Un agente es un individuo con un conjunto de características y reglas que gobiernan su comportamiento y toma de decisiones. Dentro de las características destacables que posee un agente se encuentran [1]:

- Es identificable: agente 1, 2, ..., N.

- Ubicación: Vive en un entorno ante el cual puede responder, posee protocolos de interacción y comunicación con otros agentes y con el entorno.
- Objetivos: Tiene metas claras y definidas a cumplir con respecto a su entorno y los otros agentes.
- Es autónomo y autodirigido.
- Es flexible: Tiene capacidad de aprender y adaptar su comportamiento basado en experiencia (memoria).

Un Sistema Multiagente es un sistema compuesto por múltiples agentes dinámicos que interactúan entre sí y su entorno. Además, pueden existir conexiones variables entre los agentes y producirse comportamientos emergentes [24].

2.3. Autómatas celulares

Se puede definir un autómata celular como un sistema dinámico formado por un conjunto de elementos sencillos idénticos entre sí, pero que en conjunto son capaces de demostrar comportamientos complejos [9]. En ellos el estado de cada elemento, depende del estado previo de los elementos vecinos, según un conjunto de reglas de transición.

Para la estructura de un Autómata Celular se pueden definir 5 componentes básicos [25]:

- Un plano bidimensional o un espacio n-dimensional dividido en un número de subespacios homogéneos, conocidos como celdas. A todo esto se le denomina Teselación Homogénea.
- Cada celda puede estar en uno de un conjunto finito de estados.
- Una Vecindad definida para cada celda, la que consiste en un conjunto contiguo de celdas. Esta vecindad puede estar formada por las celdas inmediatamente contiguas a la celda en cuestión (Figura 1) (vecindad de Von Neuman ,4 celdas, o vecindad de Moore, 8 celdas).
- Una Regla de Evolución, la cual define el estado de cada celda, dependiendo del estado inmediatamente anterior de su vecindad.
- Un Reloj Virtual de Cómputo, el cual generará "tics" o pulsos simultáneos a todas las celdas indicando que debe aplicarse la regla de evolución y de esta forma cada celda cambiará de estado.

El modelo de un autómata celular para d dimensiones es definido como un conjunto de 4 elementos $(\mathbb{Z}^d, S, \Omega, \delta: S^{n+1} \rightarrow S)$, donde S es el conjunto de estados finitos, Ω es un subconjunto de \mathbb{Z}^d de radical n llamado vecindad y $\delta: S^{n+1} \rightarrow S$ son las reglas de transición local del autómata celular [27].

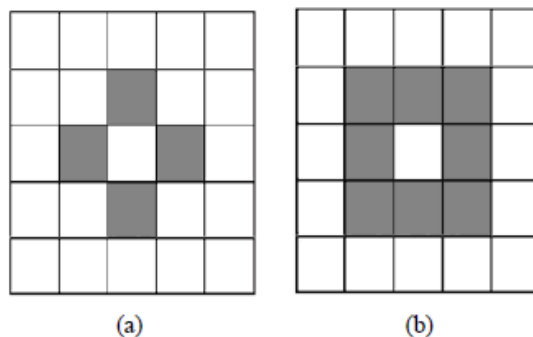


Figura 1. Tipo de vecindad para autómatas celulares. (a) Tipo Von Neumann, (b) Tipo Moore. Tomado de [26]

Para un autómata celular de dos dimensiones donde $S_{x_{i,j}}^t$ es el estado de una célula $x_{i,j}$ en la posición i, j en el tiempo t y $S_{x_{i,j}}^{t+1}$ es el estado de la célula en el tiempo $t + 1$. Entonces:

$$S_{x_{i,j}}^{t+1} = \delta \left(S_{x_{i,j}}^t, S_{\Omega_{i,j}}^t \right) \quad (1)$$

Considerando la célula misma como un miembro de su vecindad, la ecuación 1 puede ser escrita como:

$$S_{x_{i,j}}^{t+1} = \delta \left(S_{\Omega_{i,j}}^t \right) \quad (2)$$

La ecuación 2 puede ser expresada en una forma verbal, ilustrando un principio genérico de desarrollo de un autómata celular [28]:

Si algo sucede en la vecindad de una célula, entonces algo le pasará a la célula en el siguiente paso de tiempo.

Adicionalmente para poder entender mejor su representación visual, se requiere mencionar los tipos de límites o fronteras, del plano en el cual se desarrolla, en los cuales se clasifica [29]:

- a) Frontera Abierta. Se considera que todas las células fuera del espacio del autómata toman un valor fijo.
- b) Frontera Reflectora. Las células fuera del espacio del autómata toman los valores que están dentro, como si se tratara de un espejo.
- c) Frontera Periódica o Circular. las células que están en la frontera interaccionan con sus vecinos inmediatos y con las células que están en el extremo opuesto del arreglo, como si dobláramos el plano a manera de cilindro.
- d) Sin Frontera. La representación de autómata no tiene límites, es infinito. Esto solo es práctico cuando se cuenta con un software que simule la evolución del autómata.

2.4. Sistemas de interacción social entre agentes

Las normas o convenciones son factores muy importantes en la conducta social humana, son mecanismos utilizados para la autodisciplina y para que se dé un comportamiento uniforme en las sociedades humanas. Aunque la mayoría de las normas son opcionales para los individuos, algunas con el tiempo evolucionan en leyes, pero todas ellos implican un cierto grado de sanción impuesto a la persona infractora por el grupo social. Una norma surge como una convención, sin el control de una autoridad central, por lo que son un tipo de organización descentralizada, que también se puede utilizar en sistemas Multiagentes [30].

En los sistemas Multiagentes (MAS) las normas son muy útiles para establecer y mantener un orden social para el comportamiento general de los agentes, siendo muy importante esta cuestión al considerar los diferentes grados de autonomía de los agentes. La implementación de este aspecto en su comportamiento ayuda a la construcción de un sólido sistema Multiagente que proporciona eficiencia, coordinación y cooperación entre los agentes.

La investigación en sistemas Multiagentes normativos se puede clasificar en dos ramas. La primera se centra en arquitecturas de sistemas normativos, representación de normas de cumplimiento y

medidas de castigo o de incentivo. López y Márquez [31] propusieron y diseñaron una arquitectura para agentes BDI, mientras Boella y van der Torre [32] describen una arquitectura distribuida para los agentes normativos.

La segunda rama de la investigación está relacionada con la aparición de las normas. Al estudiar cómo aplicar adecuadamente este concepto para los sistemas Multiagentes, la idea de la aparición y la evolución normativa en un enfoque de abajo hacia arriba surge en oposición al de Ning una entidad central que impone un conjunto predefinido de normas de arriba hacia abajo. El primer enfoque, aunque implica un surgimiento gradual de las normas es una forma más natural para desarrollar normas en una sociedad, dar forma descentralizada y convertirse en un mecanismo de control adaptativo potencialmente escalable.

Hay varios aspectos y mecanismos que identifican los investigadores interesados en las normas y leyes entre agentes como Savarimuthu y Cranefield [33]. Mediante el estudio de cómo aparecen las normas y evolucionan en los comportamientos de los agentes, podemos identificar cuatro fases en el ciclo de vida normal [30].

La primera fase es la etapa de creación de normas, en el que un posible enfoque implica que el diseñador del sistema o un agente de alto rango (líder) crean y proponen una norma de una manera autoritaria de arriba hacia abajo. Otro enfoque se da por el agente negociador que podría llegar a una norma y la recomienda a otros agentes.

Norma difusión, la segunda fase en el ciclo de vida, se refiere a la distribución de una norma entre un grupo. Varios mecanismos pueden emplearse para el caso, tales como el liderazgo, la imitación, el aprendizaje automático, la cultura y la evolución.

La tercera fase, la aplicación de la norma, se refiere al proceso de desalentar a las personas que violen las normas mediante el uso de algún tipo de sanción.

Finalmente, la última fase, la aparición de la norma, se puede dar cuando un umbral significativo de la población está siguiendo esa norma. Este concepto constituye un punto de enfoque en esta investigación, donde se cuenta con un mecanismo que surge de abajo hacia arriba, donde micro interacciones entre los agentes llevan a macro interacciones.

En los sistemas Multiagentes un número de agentes se agrupan y forman sociedades de agentes, tal que estos últimos trabajan juntos para resolver problemas que van más allá de sus capacidades individuales. Un agente se comunica directa o indirectamente con los otros agentes para propósitos de cooperación o competición. Usualmente, en un sistema Multiagente las dinámicas de interacción entre los agentes y/o con el entorno no son predefinidas y conducen a una estructura o funcionalidad emergente en el sistema Multiagente, sin que ningún componente del mismo sea responsable por si solo de alcanzar un objetivo global, sino que la comunidad contribuye a alcanzar el mismo. Para todo esto, los agentes necesitan tener habilidades sociales y un comportamiento interactivo que les permita comunicarse, coordinarse, cooperar y negociar entre ellos de manera dinámica [34].

De esta manera, con los sistemas Multiagente es posible modelar sistemas que tengan una alta densidad de agentes, que trabajen de manera descentralizada basado en sus interacciones locales, y con un comportamiento emergente que favorezca su adaptación frente a situaciones cambiantes.

Entre los trabajos que podemos mencionar que utilizan auto-organización e interacción indirecta para alcanzar un comportamiento emergente y autoorganizado en los sistemas Multiagentes están [35, 36, 37, 38, 39]. En [35, 36, 38] se diseña un sistema de control de manufactura (productos,

recursos y ordenes) basado en agentes usando interacciones indirectas como mecanismo de coordinación, a través de un campo disipativo basado en feromona imitando la manera en que trabajan los insectos sociales para coordinar sus comportamientos. Con respecto a la robótica Multiagente también encontramos trabajos como [37, 39], que muestran el uso de la inteligencia colectiva para, por ejemplo, coordinar un equipo de robots en ambientes inciertos para el alcance de sus objetivos. En esos trabajos se desarrollan soluciones a tareas colectivas con comportamientos simples de los agentes, a través de un control descentralizado y una coordinación dinámica de las actividades a través del entorno.

2.4.1. Inteligencia Colectiva

Según [40], la inteligencia de enjambre, o también llamada inteligencia colectiva, es un campo de investigación científica, multidisciplinaria, que se interesa en los procesos distribuidos (no supervisados) de una organización, y como este modelo está presente en un cierto número de sociedades animales para resolver problemas complejos en ellas [41]. Este campo ha propuesto un gran número de sistemas artificiales bio-inspirados para diferentes cosas: resolver problemas de optimización, coordinación de robots, auto-ensamblaje, organización de bases de datos, protección de virus, entre otras [42, 43].

Los comportamientos colectivos mostrados por las colonias de insectos se pueden categorizar de acuerdo con cuatro funciones que emergen a nivel de la colonia y que organizan su comportamiento global [41]. Estas funciones son: coordinación, cooperación, deliberación y colaboración. Así, estas funciones apoyan el procesamiento de información de la colonia de acuerdo a dos ejes principales:

- I. La coordinación y colaboración forman estructuras sociales, temporales y espaciales que resultan del trabajo de la colonia. La coordinación regula la densidad espacio-temporal de los individuos mientras que la colaboración regula la asignación de sus actividades.
- II. La cooperación y deliberación provee herramientas para que la colonia pueda enfrentar los retos ambientales. La deliberación permite los mecanismos que apoyan las decisiones de la colonia, mientras la cooperación representa los mecanismos que superan las limitaciones individuales.

Las estructuras complejas a nivel de colonia, y muchos aspectos de la llamada inteligencia de enjambre de los insectos sociales, pueden ser comprendidos en término de redes de interacción y ciclos de retroalimentación entre los individuos. Estos son los elementos básicos que permiten la emergencia de patrones dinámicos a nivel de la colonia. Estos patrones pueden ser materiales (como el agrupamiento de cadáveres y construcción de nidos) o sociales (como la división de tareas), y conducen a la colonia a estructurar su entorno (por ejemplo, la construcción de nidos) o a resolver problemas (por ejemplo, tomar decisiones colectivas) [41]. Los sistemas realizados bajo el enfoque de la inteligencia colectiva se caracterizan por exhibir características que hacen a las sociedades de insectos exitosas en su entorno, tales como: flexibilidad, robustez, control descentralizado y auto-organización. Particularmente, cuando hablamos de inteligencia colectiva debemos tratar dos aspectos claves [40]: la auto-organización y la interacción indirecta.

La auto-organización en este tipo de sistemas es un proceso en el que el patrón (arreglo organizado particular de objetos en espacio o tiempo) en el nivel global de un sistema emerge solamente de las interacciones numerosas entre los componentes de nivel inferior del sistema [44]. Por otra parte, las reglas que especifican las interacciones entre los componentes del sistema se ejecutan usando solamente información local, sin referencia al patrón global. Por ejemplo, las estructuras emergentes en el caso de la búsqueda de comida (forrajeo) en las hormigas incluyen redes

organizadas espacial y temporalmente de rastros de feromona (sustancia química excretada por algunos animales que influye en el comportamiento de los de su misma especie).

El sistema de las abejas es un ejemplo típico del trabajo en equipo organizado, de interacción bien coordinada, de coordinación, de división del trabajo, de realización simultánea de tareas, de individuos especializados y de comunicación tejida [46]. También tenemos como ejemplo de coordinación y cooperación a las colonias de hormigas, las cuales han inspirado varias investigaciones debido a su forma de trabajo descentralizada, entre estas se destaca el algoritmo de «optimización colectiva de partículas» (OCP - inspirado en el abastecimiento de las hormigas) ha sido comparado con los algoritmos genéticos para el hallazgo eficiente de soluciones óptimas o cuasi óptimas en un espacio de búsqueda amplio. La diferencia más notable radica en que la OCP escoge el sendero de cooperación sobre el de la competencia, en tanto los otros algoritmos evolutivos por lo regular usan alguna forma de aniquilación. La población de OCP es estable y los individuos no son destruidos o creados, sino influenciados por el mejor desempeño de sus vecinos. Esta optimización ha sido desarrollada a partir de la simulación de modelos sociales simplificados, como las manadas de pájaros y los cardúmenes de peces [47]. Por tratarse de un concepto simple, de fácil implementación y rápida convergencia, ha llamado la atención y ha sido exitosamente aplicado en diversas situaciones, como la programación de sistemas manufactureros flexibles, el control de voltaje y poder, el entrenamiento de redes neuronales, la asignación de tareas y la selección de proveedores [48].

Entre los animales también se pueden ver comportamientos de competencia inmersos en su modelo organizacional donde los más aptos sobreviven y se reproducen con más eficacia como por ejemplo en los peces betta, los cuales luchan por el territorio y por las mejores hembras, estos peces tienden a ser muy dominantes y solo logran sobrevivir y reproducirse los peces más agresivos [49], este tipo de comportamientos ha inspirado modelos de inteligencia colectiva en donde se estudia que tipo de comportamiento logra dar más resultado en cuanto a sobrevivencia de especies (Wilensky, U. NetLogo Cooperation model) si un comportamiento cooperativo o un comportamiento competitivo.

La esencia de la auto-organización es que un sistema adquiere una estructura espacial, temporal o funcional sin interferencia específica del exterior. La organización puede desarrollarse en el tiempo o en el espacio, puede mantenerse en una forma estable, o puede mostrar fenómenos transitorios. La característica principal de estos sistemas auto-organizativos es su capacidad de lograr tareas colectivas complejas con comportamientos individuales simples, sin un control central o estructura jerárquica. Esta capacidad para resolver problemas complejos se debe al comportamiento emergente (un comportamiento nuevo y estable) que es producido por el sistema y, que es más complejo que el comportamiento de componentes individuales del sistema.

Según [45], un enjambre está definido como la auto-organización útil de múltiples entidades a través de interacciones locales. En la tabla 1 se resumen algunos ejemplos de este comportamiento en la naturaleza.

COMPORTAMIENTO ENJAMBRE	ENTIDADES
Generación de patrones	Bacterias, Moho Fangoso
Formación de caminos	Hormigas
Organización de nidos	Hormigas
Transporte cooperativo	Hormigas
Selección de la fuente de alimentos	Hormigas, Abejas
Termo-regulación	Abejas
Asignación de tareas	Avispas
Construcción de colmenas	Abejas, Avispas, Avispones, Termitas
Sincronización	Luciérnagas, bancos de peces, bandadas de aves
Construcción de redes	Arañas
Cardumen "Schooling"	Peces
Bandadas "Flocking"	Aves
Asedio de presas "Prey Surrounding"	Lobos

Tabla 1. Algunos ejemplos de enjambres en la naturaleza, tomado de [45]

2.5. Arquitectura MOJANA

La modelación de un fenómeno natural o social habitualmente es abordada por las ciencias naturales sin embargo cuando se refiere a modelar sistemas complejos las diferentes disciplinas que tienen como base un método científico convencional aparentan no ser suficientes [16].

El aplicativo MOJANA presentado en NetLogo permite la simulación de fenómenos naturales, sociales y su interacción. Los resultados comprueban su utilidad a la hora de modelar sistemas complejos cambiantes en el tiempo.

La arquitectura tiene como finalidad poder presentar con claridad la aplicación de algunos fundamentos de la teoría BVS (Blind Variation Selection Retention) propuesta por Campbell (1965, 1987) a su vez quiere analizar los niveles micro, meso y macro referentes a la propuesta Dopher (2005).

Se ha optado por el diseño y ejecución de un sistema Multiagente que a partir de reglas muy sencillas dominadas por procesos de variación, selección y retención hacen posibles la auto organización y la emergencia tomando como base la aplicación de normas evolutivas a la socio economía [16].

2.5.1. Descripción de la zona de estudio

La Mojana es una eco región de especial importancia nacional que hace parte del complejo de humedales de la Depresión Momposina, la cual es una cuenca hidrográfica sedimentaria de 24.650 km², reguladora de los caudales de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge. Estos humedales tienen como función la amortiguación de inundaciones facilitando la decantación y acumulación de sedimentos lo cual es indispensable para la costa caribe.

Sin embargo esta eco-región está siendo afectada debido a un mal uso de su territorio al cual se le adiciona la construcción de obras civiles y un inadecuado manejo de las cuencas de los ríos que confluyen en el delta hídrico generando así desequilibrios ambientales como daños en el complejo cenagoso y fluvial [16].

Tomando como base la propuesta de Dopfer (2005), A nivel macro se demuestran pautas, donde la eco región sirve como zona de amortiguamiento para las inundaciones en el país de igual manera ha sido escenario de grandes obras de infraestructura (Dique carretable construido bajo CONPES 3421 desarrollado en el año 2006), pautas que entran en discordia cuando hacemos referencias al nivel meso ya que la población se encuentra dividida por diferentes reglas. Por ejemplo, los terratenientes generan procesos de explotación agrícola y ganadera en el territorio; los campesinos habitan el territorio y están enfocados en generar un bienestar a sus familias al igual que los mineros, quienes generan procesos de extracción de recursos minerales; las comunidades ambientales desean proteger la fauna y flora para la conservación de la biodiversidad, entre otros.

A nivel micro, estos individuos pueden llegar a verse afectados por esta división, y por otro lado su preocupación es mantener sus recursos, proteger su cultura y familia y subsistir. A si evidenciamos los diferentes conflictos que existen entre los niveles micro, meso y macro de la eco-región.

Basándose en la realidad social y ambiental de la eco-región de la Mojana y apoyados en los distintos niveles de conocimientos (Campbell, 1965) se evidencia como el dialogo de saberes entre diferentes agentes en busca de un mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes es indispensable al pensar en la ejecución de cualquier estrategia territorial.

En este punto la modelación es de gran apoyo dado que evidencia las relaciones entre los diferentes agentes permitiendo la generación de escenarios de intervención.

2.5.2. Descripción de la arquitectura de MOJANA

La MOJANA está dada por una jerarquía de tres sub-modelos: territorio, poblaciones y una inundación (Figura 2) la jerarquía propuesta está inspirada por Berger et al. (2007), mientras que los sub-modelos toman como base a los aplicativos: NetLogo wealth distribution model (Wilensky, 1998, 1999), NetLogo Urban Suite-Sprawl Effect model (Felsen and Wilensky, 2007; Wilensky, 1999) y NetLogo Erosion model (Dunham et al., 2004; Wilensky, 1999).

El territorio está modelado como un autómata celular cuyas celdas albergan grano (i.e grain-here) representando así la riqueza de este medida tanto en elementos humanos como en recursos naturales, el territorio tiene la capacidad de regeneración dado que todo el grano consumido se recupera en el tiempo [16].

Las poblaciones están representadas por un sistema de agentes que toman provecho del territorio para obtener riqueza (i.e. variable wealth) por tanto la interacción de los agentes con el territorio trae el enriquecimiento o empobrecimiento del mismo.

La inundación esta simulada por otro autómata celular que aparece cada cierto tiempo, para los agentes el nivel de agua (i.e variable water) puede ser llamativo o despreciable. La inundación se modela por medio de un sistema de agentes uniformemente distribuidos sobre un espacio cartesiano, lo cual corresponde a una estructura clásica de autómata celular. Cada agente es una celda rodeada por una vecindad tipo Moore.

La función de cada celda es investigar cuál de sus vecinas tiene menor cantidad de agua. La cantidad de agua que fluye hacia dicha celda corresponde a la mitad de la diferencia de niveles entre la celda encargada de explorar y su vecina de más bajo nivel, a menos que no sea suficiente la cantidad de agua. Así si la cantidad de agua en la vecina elegida es mayor no se produce flujo hacia dicha celda y el nivel de agua en la celda que explora se actualiza.

MOJANA se caracteriza por exhibir un entorno que varía a través del tiempo, gracias a la presencia de la inundación, la capacidad que tiene el territorio de regenerarse y la posibilidad de cambio existente en los agentes [16].

Dentro de MOJANA consideramos dos tipos de agentes agrícolas y anfibios que emulan el comportamiento de la población en la eco-región (Figura 3).

Al comienzo el sistema actualiza el número total de agentes (agrícolas y anfibios); los cuales tienen la misma rutina (i.e. buscar, moverse, asentarse, reproducirse y morir). La principal diferencia que existe entre agrícolas y anfibios es la manera que tiene de adaptarse dependiendo de las condiciones en las que se encuentra el territorio (i.e. seco o inundado).

El incremento y estabilidad de la riqueza en las parcelas dependen de la velocidad de búsqueda (i.e. speed) y la riqueza ya acumulada. Dando lugar a la aparición de tres clases socioeconómicas alta, media y baja (i.e. High, Medium, Low). El agente tiene la capacidad de cambiar de anfibio a agrícola o viceversa a medida que se agota el tiempo de búsqueda el cual es influenciado por presiones del ambiente sobre este.

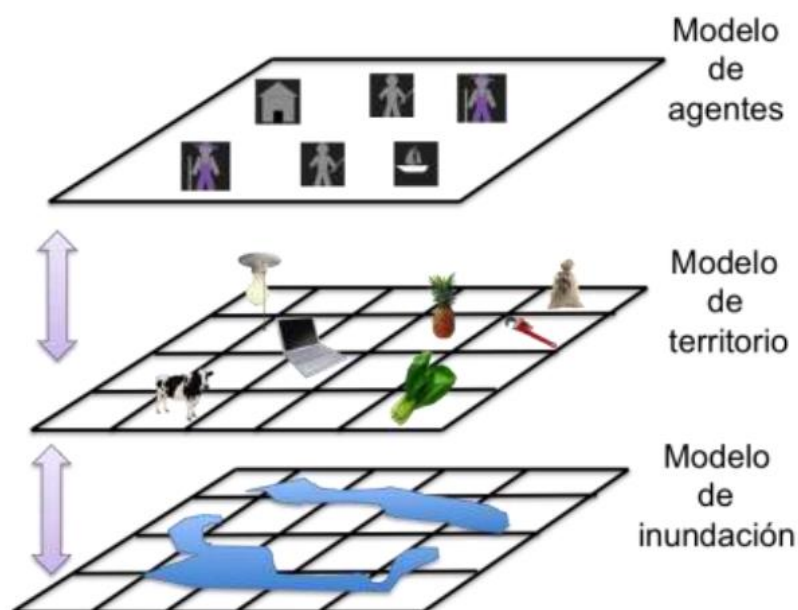


Figura 2. Estructura jerárquica de MOJANA. Tomada de [16]

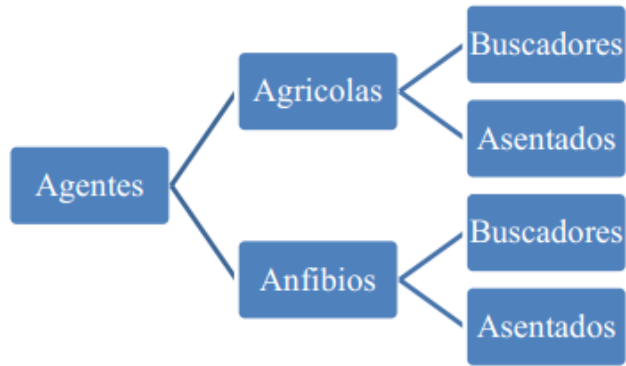


Figura 3. Tipos de agentes en MOJANA. Tomado de [16]

Atributo	Descripción
age	Edad del agente
wealth	Cantidad de riqueza que un agente tiene
life-expectancy	Máxima edad que un agente puede llegar a tener
metabolism	Cantidad de riqueza que un agente puede llegar a consumir
stay-counter	Tiempo de establecimiento de un agente en una parcela
patience-counter	Tiempo de búsqueda de un agente
speed	Velocidad del agente

Tabla 2. Atributos de los agentes en MOJANA. Tomado de [16]

2.5.3. Análisis evolutivo de MOJANA

En el modelo podemos identificar características de varios niveles de conocimientos (Campbell 1965) como lo son:

- Dispositivos sustitutos de locomoción: el agente cuenta con un mecanismo de radar que ayuda a su proceso de búsqueda
- Pensamiento apoyado en la visión: el territorio se convierte en un espacio que está presente visualmente comprendido en el proceso de búsqueda de cada agente.
- Pensamiento apoyado en la memoria: el comportamiento del agente está representado en su memoria a través de reglas que están preestablecidas.

Se logran identificar elementos que explican procesos de variación, selección y retención tanto en la eco-región de la Mojana como en MOJANA [16].

a. Variación

No se pueden identificar variaciones en el nivel macro (Dopfer, 2005) ya que las reglas no pueden ser modificadas desde los agentes. Sin embargo gracias a los cambios en el sistema en el nivel micro, es posible observar una configuración en las distintas tendencias de velocidad, asentamiento, crecimiento y adaptabilidad en el nivel meso.

Se pone en manifiesto la diversidad inicial de los agentes los cuales están divididos en dos razas agrícolas y anfibios que a su vez pueden adoptar dos roles, el de búsqueda y el de asentamiento. De igual manera existe una variación en el mecanismo de búsqueda de grano de cada agente y la clase social al cual pueden pertenecer teniendo en cuenta la capacidad de riqueza acumulada. Por otro lado las parcelas representantes del ambiente pueden estar secas o inundadas y la cantidad de grano asociada a estas también es variable.

b. Selección

Los sistemas selectivos según Campbell (1965) erradican o aumentan las variaciones específicas. Teniendo en cuenta esto se pueden identificar:

- Sobrevivencia de grupos sociales: La eco-región de la Mojana antes de la colonia fue habitada por Zenúes. Hacia los siglos XIII y XIV empezó a ser ocupada por los Malibúes, quienes generan un choque cultural, que unido a una época de pocas inundaciones desestimula el manejo del agua y favorece su ocupación. con la desaparición de la cultura Zenú, se inicia la explotación productiva del territorio en términos de cultivo, oro y ganadería (Ortiz, 2014). La unidad de selección son los agentes, en este caso los indígenas Zenúes, posteriormente los Malibúes y finalmente los habitantes actuales. Respecto a MOJANA la unidad de selección son los agentes y para este caso las presiones están dadas por el territorio (i.e. grano y agua) y el metabolismo del agente.
- Difusión selectiva entre grupos sociales: Es observada en la regla de “explotación productiva del territorio” que ha sido seleccionada por los grupos sociales existentes (y prevalece desde el periodo de la colonia.
- Propagación de variaciones temporales: En la eco-región se empieza la exploración de estrategias de adaptación por parte de la población a partir de las inundaciones que se forman periódicamente. lo que sirve de aprendizaje para las siguientes temporadas.
- Selección racional: se evidencia en los procesos de planeación territorial de la eco-región, y que han guiado la forma de utilización de los recursos naturales.

c. Retención

Según Campbell (1965) es notorio que nuestras tradiciones se vean cada día más retenidas en nuestro patrimonio material más que en nuestra memoria oral-cultural.

Este sistema de retención se puede observar en diversos ambientes. En el caso de la eco-región de la Mojana, predomina una economía que gira en torno a la ganadería (DNP, 2006) dando lugar a una cultura centrada en esta labor.

Se podría sugerir que en MOJANA el sistema de retención cultural asociado a un patrimonio material se da en las unidades territoriales. Particularmente la variable grain-here reflejaría la “riqueza” de un territorio. Esta variable es modificada por los agentes cada vez que se establecen o pasan por las unidades territoriales, haciéndola crecer o disminuir. La variable condiciona el futuro desarrollo de los agentes dado que su supervivencia depende directamente de ella.

2.6. Protocolo estándar para la descripción de modelos basados en agentes ODD

Este protocolo está formado por tres bloques (información general, conceptos de diseño y detalles), que se subdividen en siete elementos, propósito, variables y escalas de estado, descripción y planificación de procesos, conceptos de diseño, inicialización, entrada, y Sub modelos.

"ODD" hace referencia al acrónimo de los tres bloques de elementos que constituyen el protocolo "Información general", "Conceptos de diseño", y "Detalles" en inglés (Overview, Design concepts, Details), (Tabla 3) [51].

2.6.1. Propósito

El propósito de un modelo tiene que ser declarado en primer lugar porque sin saberlo los lectores no pueden entender por qué se incluyen algunos aspectos de la realidad, mientras que otros son ignorados. Por lo general, el contexto y la finalidad de un modelo se proporcionan en la introducción de un documento, pero sin embargo es importante contar con una formulación clara, concisa y concreta del propósito del modelo, ya que proporciona una guía de lo que se puede esperar en la descripción del modelo. Por lo tanto, este elemento informa acerca de por qué se construyó el modelo complejo, y lo que en general, y en particular hace dicho modelo.

2.6.2. Las variables de estado y escalas

En primer lugar, se debe describir el conjunto de variables de estado. El término "variables de estado" se refiere a las variables de bajo nivel que caracterizan a las entidades de bajo nivel del modelo, es decir, individuos o unidades de hábitat. Por ejemplo, las personas pueden estar caracterizadas por una serie de características: edad, sexo, clase social, la ubicación, los padres. Unidades de hábitat pueden caracterizarse por la ubicación, tipo de suelo, el riesgo de depredación (para una determinada especie), porcentaje de cobertura.

Es importante no confundir las variables de estado de bajo nivel con variables auxiliares o agregadas, tales como el tamaño de la población o la densidad media de alimentos en un área determinada.

Una opción para la descripción de las variables de estado y escalas es el uso de diagramas de clases del Lenguaje Unificado de Modelado (UML; Fowler, 2003). Una vez que los lectores conocen el conjunto completo de variables de estado (de bajo nivel), tienen una idea clara de la estructura del modelo y de la resolución del mismo.

Información general	Propósito
	Variables y escalas de estado
	Descripción y planificación de procesos
Conceptos de diseño	Conceptos de diseño
Detalles	Inicialización
	Entrada
	Sub modelos

Tabla 3. Los siete elementos del protocolo ODD, agrupados en los diferentes bloques

Por último, además de las variables de estado, las escalas abordadas por el modelo deben expresarse, es decir la longitud de los pasos de tiempo y horizonte temporal, el tamaño de las células del hábitat y la extensión del mundo. La razón por la que estas escalas se han seleccionado, ya que la elección de la escala es una decisión fundamental para determinar el diseño de todo el modelo.

2.6.3. Visión general y planificación de procesos

Debemos saber que los procesos ambientales e individuales están integrados en el modelo; ejemplos son la producción de alimentos, la alimentación, el crecimiento, el movimiento, la mortalidad, reproducción, eventos de perturbación, y la gestión. En esta etapa, una descripción conceptual de cada proceso y sus efectos es suficiente, ya que el objetivo principal de este elemento de ODD es dar una visión general concisa. Si el número de procesos incluidos en el modelo es grande, una tabla con los procesos podría ser útil.

En muchos casos será conveniente para visualizar la programación el uso de diagramas de flujo. Los diagramas de flujo deben, sin embargo, corresponder literalmente al flujo de procesos en el modelo, de lo contrario, hacen que sea virtualmente imposible volver a implementar el modelo. El pseudo-código que describe la estructura de la simulación es una buena alternativa.

2.6.4. Los conceptos de diseño

Los conceptos de diseño proporcionan un marco común para el diseño y la comunicación de IBM, entre estos tenemos.

- Aparición: ¿Qué fenómenos a nivel de sistema verdaderamente emergen de los rasgos individuales?
- Adaptación: ¿Qué rasgos de adaptación los individuos del modelo tienen directa o indirectamente para mejorar su potencial físico, en respuesta a los cambios en sí mismos o de su entorno?
- Predicción: Es la estimación de las futuras consecuencias de sus decisiones.
- Detección: ¿Qué variables de estado internas y ambientales los agentes tienen en cuenta en sus decisiones de adaptación?
- Interacción: ¿Qué tipo de interacciones entre los individuos hay? Estocasticidad: ¿Es la estocasticidad parte del modelo? ¿Cuáles son las razones? Colectivos: ¿Son individuos agrupados en especies, por ejemplo, un grupo social?
- Observación: ¿Cuáles son los datos recogidos de la IBM para la prueba, la comprensión y el análisis de ella?

2.6.5. Inicialización

Esto se refiere a cuestiones tales como: ¿Cómo es el medio ambiente y los agentes creados en el inicio de una simulación, es decir, cuáles son los valores iniciales de las variables de estado?, ¿siempre inicia igual, o se varió entre simulaciones?, ¿los valores iniciales son elegidos arbitrariamente o sobre la base de datos? Las referencias a esos datos deben ser proporcionadas.

2.6.6. Entrada

La dinámica de muchos IBM es impulsada por algunas condiciones ambientales que cambian con el tiempo y el espacio. Un ejemplo típico es la precipitación, que puede variar con el tiempo (estaciones, años) y el espacio (diferentes patrones espaciales de la precipitación en diferentes regiones), y la gestión, por ejemplo, regímenes de explotación (gestión también podrían abordarse en la sección "experimentos de simulación", que por lo general va a seguir la descripción del modelo). Todas estas condiciones ambientales son "entradas". La salida del modelo da la respuesta del modelo a la entrada.

2.6.7. Sub modelos

Aquí, todos los sub modelos que representan los procesos enumerados anteriormente en "procesos y escalas" se presentan y explican en detalle, incluyendo la parametrización del modelo, esto por medio de.

- a. El "esqueleto" matemática del modelo. Este esqueleto consta de las ecuaciones del modelo y las reglas y una o más tablas que presentan los parámetros del modelo y explicaciones de las ecuaciones y las normas.
- b. Una descripción del modelo completo. Esta versión tiene exactamente la misma estructura que el "esqueleto" (es decir, los mismos subtítulos y números de la ecuación), pero ahora cada ecuación y el parámetro se explica verbalmente con todo detalle y se ocupa de cuestiones tales como: ¿Qué supuestos específicos subyacen las ecuaciones y reglas?, ¿cómo se eligieron valores de los parámetros?, ¿cómo fueron probados y calibrados los sub modelos?

Capítulo 3

Características de los modelos de interacción social entre agentes.

Realizando una revisión de la literatura, se han encontrado varios modelos de interacción social entre agentes que tienen como objetivo el estudio del comportamiento macro del sistema configurando el comportamiento micro del mismo [35, 36, 37, 38, 39].

Los modelos de interacción social entre agentes tienen ciertas características que los definen como modelos, estas características son medibles y proporcionan información acerca del éxito o fracaso de los agentes que las poseen. Para estos modelos se estudiarán algunas de estas características entre las que destacan:

3.1. Factor social “capacidad de asocio”

Se define como la capacidad que tienen los individuos de hacer alianzas para el bien común o colectivo, en los modelos de interacción social viene dada por las diferentes formas en que los agentes logran complementarse a nivel micro para obtener un resultado a nivel macro.

Los individuos pertenecientes a una misma clase social o a un mismo estamento de producirse las condiciones adecuadas pueden establecer alianzas entre ellos en pos de mantener un cierto estatus social o económico de grupo, o alcanzar uno aún mejor [52].

El ser humano en aras de conseguir una satisfacción social de grupo necesita de elementos tales como el ánimo, la perspectiva, el criterio, el horizonte, que son capaces de proporcionar las creencias. Las creencias aportan un mundo de posibilidades al individuo moviendo así conciencias, y proporcionando a la clase social su propio reconocimiento [52].

La creencia más simple bajo este contexto es la que está arraigada en la conciencia de los individuos que infunde la semejanza con otros individuos en relación con las condiciones materiales que gozan o padecen.

Entonces bajo estas condiciones los individuos con una misma clase social que logran sentirse identificados con otros semejantes, pueden llegar a formar alianzas que ayuden tanto de forma individual como colectiva a la clase social perteneciente.

3.2. Reproducción

La reproducción permite la formación de nuevos individuos semejantes a sus progenitores y asegura la continuidad de las especies. Por medio de la reproducción, las características heredables de los progenitores pasan de una generación a la siguiente [53]. El éxito de las especies se mide en la capacidad que tienen estas de transmitir sus genes a las siguientes generaciones de individuos que tendrán como fin este mismo hecho.

En los modelos de interacción social, la reproducción viene dada en términos sociales ya que las especies en este caso agentes, transmiten sus características individuales a la siguiente generación de agentes para así medir en el tiempo cuan viable es el comportamiento mostrado por estos. Se suele utilizar para la reproducción de los agentes umbrales de energía por medio de los cuales un agente logra generar un nuevo individuo cuando su energía ha pasado el umbral establecido para la reproducción [41].

3.3. Mortalidad

Si se toma mortalidad como una característica de la existencia, se debe definir como lo necesariamente opuesto a la vida [52]. La mortalidad es la condición de ser mortal, por tanto, de ser susceptible a la muerte. Sin embargo, el término mortalidad está en la mayoría de los casos relacionado con estudios estadísticos aplicados sobre poblaciones, como por ejemplo cuando se mide la mortalidad infantil, la mortalidad materna o la mortalidad perinatal [53]. La mortalidad aparece entonces como un número que busca establecer la cantidad de muertes sobre una población determinada. En los modelos de interacción social que se estudiarán la mortalidad se da en los individuos por lo general por factores tales como la falta del factor energía, o por el tiempo que lleva “vivo” el agente [54].

3.4. Riqueza

La riqueza está vinculada a la abundancia. El uso más habitual del término se refiere a poseer una gran cantidad de cosas de valor material, como pueden ser bienes o dinero [55]. Por otro lado, este mismo concepto puede ser utilizado para expresar fortuna simbólica, como ocurre cuando se habla de riqueza espiritual. En los modelos de interacción social que se estudiarán la riqueza viene dada por el nivel de “grano” que se posea. El grano está definido como la riqueza que se encuentra en cada parcela o parche del ambiente en el que se desenvuelven los agentes, en ocasiones está dado por pasto, por bienes e incluso por valor del trabajo humano, entre otros [56].

Capítulo 4

Modelos de interacción social entre agentes

Como base principal de esta investigación se tendrá el modelo de optimización por colonia de hormigas y el modelo de vacas codiciosas y cooperativas, ambos implementados en la plataforma NetLogo, en la cual también se desarrollara este proyecto, debido a que estos modelos reúnen las características propias de los sistemas de interacción social entre agentes, y describen de forma clara como cada característica del modelo desempeña un papel importante a nivel macro en el sistema.

4.1. Modelo de optimización por colonia de hormigas.

El algoritmo de Optimización por Colonia de hormigas (ACO) fue desarrollado por Marco Dorigo en 1992 [57]. Este era un método de optimización que simulaba hormigas reales (agentes) las cuales recorrían un determinado ambiente y ponían "feromonas" en las rutas óptimas. Otros agentes recorrían estas rutas y se guiaban por estas feromonas y a su vez dejaban también un rastro para ser detectado por las demás hormigas.

Este tipo de optimización involucra un gran número de agentes. Cada agente puede realizar tareas relativamente simples y sólo puede obtener información de su entorno inmediato, pero en grandes números pueden lograr cosas complejas, como la búsqueda de soluciones óptimas.

En el modelo, las hormigas sólo son conscientes de si están o no llevando comida y sólo obtienen información de los espacios adyacentes. La información que se reúne es una "feromona" que es dejada atrás por otras hormigas. Este comportamiento establece un gradiente de feromona que es más fuerte en la fuente de alimento y se vuelve más débil cuanto más lejos esté de la fuente de alimento. Una hormiga no puede cubrir mucho terreno, pero muchas hormigas pueden cubrir rápidamente todo el entorno. Las hormigas siguen esta feromona para encontrar su destino.

El modelo está diseñado basado en un estudio realizado por los investigadores (Deneubourg, Aron, Gross y Pasteel) llamado "los experimentos de doble puente" [58], estos consisten en que las hormigas para hallar la ruta óptima hacia la fuente de alimentación dejan una feromona que es percibida por las otras hormigas, y entre más hormigas perciban esta feromona y transiten por este camino más fuerte se hace este rastro. Pero se enfrentaban a un problema mayor, que consistía en como transportar la comida hacia el nido de forma óptima, sin programar el lugar donde se encontraba el nido, esto se logró solucionar observando a las hormigas reales, que también dejan una feromona indicando el lugar hacia donde se encuentra el nido. Entonces se crea una dinámica de doble puente, en donde se deja tanto rastro para encontrar la comida, como rastro para encontrar el nido.

Este rastro de feromona en este modelo es el que se llamará factor social "capacidad de asocio", pues es la forma en que las hormigas (agentes) logran colaborar y llevar a cabo una tarea compleja que solo es ejecutable cuando se pone en marcha una tarea de equipo una dinámica cooperativa.

Este factor social es medible y modificable en el modelo puesto que se tendrá feromona para ir hacia la fuente de alimento y feromona para ir hacia el nido. Entre más fuerte es la feromona de alimento más hormigas estarán transitando esta ruta, y acabando rápidamente la fuente de alimento. Sin embargo se presenta una dualidad en el modelo que plantea cuanto tiempo es óptimo dejar este rastro de feromona en el ambiente puesto que cuando la comida se acaba el rastro debería evaporarse o si no las hormigas estarían perdidas moviéndose hacia un lugar donde no existe alimento. Pero si la evaporación es muy rápida, probablemente cuando se encuentre una fuente de alimento las hormigas no alcancen a percibir la feromona de alimento dejada por las otras hormigas de la colonia. Dentro del modelo se encuentran características destacables que lo identifican como un modelo de interacción social entre agentes, dichas características están inmersas en el comportamiento individual de cada agente y son las que llevan a cabo la dinámica colectiva de la colonia.

Factor social “capacidad de asocio”: El factor social es clave para este modelo ya que a través de este, es que los agentes logran obtener su nivel de riqueza (grano). Este factor se mide en el modelo a través de la feromona que dejan las hormigas en el ambiente cuando detectan una fuente de alimento y cuando se alejan del nido. Es por medio de esta feromona que los agentes se comunican entre sí la información de fuentes de alimento y de cómo volver al nido donde almacenan la comida. En la Figura 4 se puede ver cómo está configurado el factor social dentro del modelo.

En el pseudocódigo mostrado en la Figura 4, se puede ver que en principio se inicia la instrucción de dejar feromona en el camino por donde va la hormiga, luego la feromona va dejando un rastro que les indica a las otras hormigas el camino ya sea hacia la comida o hacia el nido, si el agente encuentra comida la variable dejar rastro de feromona se vuelve 1 es decir toma el valor de verdadera, y la hormiga comienza a dejar el rastro, y a su vez las hormigas vecinas empiezan a seguir dicho rastro, de lo contrario la variable de dejar feromona en el camino se vuelve cero y entra la hormiga en estado de exploración para buscar fuentes de alimento.

A su vez el código cuenta con una variable que disminuye con el tiempo la cual está encargada de ir borrando el rastro de feromona dejado por la hormiga con el paso del tiempo, ya que este rastro no puede confundir a las demás hormigas cuando no hay alimento debido a que estas estarían siguiendo un rastro que no lleva a ningún lado.

```

INICIO DE INSTRUCCIÓN “DEJAR FEROMONA COMIDA”
INICIO DE INSTRUCCIÓN RASTRO DE FEROMONA COMIDA
SI AGENTE ENCUENTRA COMIDA ENTONCES
DEJAR RASTRO DE FEROMONA COMIDA = 1
SEGUIR RASTRO DE FEROMONA HACIA NIDO
DE LO CONTRARIO
DEJAR RASTRO DE FEROMONA COMIDA = 0
EXPLORAR AMBIENTE
FIN DE FUNCIÓN RASTRO DE FEROMONA COMIDA
RASTRO DE FEROMONA COMIDA = RASTRO DE FEROMONA COMIDA - 0.1
FIN DE INSTRUCCIÓN “DEJAR FEROMONA COMIDA”

```

Figura 4. Pseudocódigo de factor social en modelo de optimización por colonia de hormigas

Reproducción: La reproducción en el modelo se da de forma sistemática, ya que los agentes solo pueden producir un nuevo agente cuando su energía llega a un umbral determinado, por debajo de este umbral es imposible que se creen nuevos individuos. Este umbral de energía está determinado por la ganancia “grano” que pueda recoger el agente del medio en el que se desenvuelve. Los agentes en su periodo de “vida” solo pueden llegar a producir un agente antes de morir si cumple con las condiciones de energía establecidas. El nuevo agente producido viene programado con características aleatorias en cuanto a modo de búsqueda, y viene con un metabolismo determinado que le permite buscar un tiempo considerable sin necesidad de alguna fuente de alimento. En la Figura 5 se puede ver cómo está configurado el factor de reproducción dentro del modelo.

En la Figura 5 donde se describe el pseudocódigo de la reproducción se puede notar que lo primero que se tiene en cuenta en el modelo para la reproducción es que el agente tenga el nivel adecuado de energía para poder dar paso al nuevo agente, luego de esto el sistema detecta si el agente en cuestión no ha creado algún agente en el pasado, si esto es así se puede dar paso a la creación del nuevo agente, pasado esto automáticamente se le resta una parte de la energía al agente, por lo que este tiene que buscar fuentes de alimento rápidamente o morirá, y al nuevo agente se le da un valor de energía aleatorio entre 0.2 y 0.6 suficiente para que busque fuentes de alimento en un determinado tiempo sin morir.

Mortalidad: Para controlar la población en el modelo se incluyó un factor de mortalidad que depende de la energía que posea el agente y de la longevidad del mismo, es decir los agentes en la colonia tienen tiempo de vida y pueden morir o no por el nivel energético que tienen. La energía de los agentes se ve disminuida cuando el agente dura un tiempo determinado sin encontrar una fuente de alimento, o cuando da “vida” a un nuevo agente. En la Figura 6 se puede ver cómo está configurado el factor de mortalidad dentro del modelo.

Como se puede ver en la Figura 6 el factor de mortalidad es relativamente simple en el modelo, ya que si el nivel de energía del agente llega a cero o supera la edad máxima de longevidad que es de 20 el agente muere.

```
INICIO INSTRUCCIÓN “REPRODUCCIÓN”
INICIO INSTRUCCIÓN UMBRAL DE ENERGÍA
SI ENERGÍA ES MAYOR A 0.8 Y AGENTES CREADOS ES IGUAL A 0 ENTONCES
CREAR NUEVO AGENTE
ENERGÍA DEL AGENTE = ENERGÍA DEL AGENTE - 0.5
FIN INSTRUCCIÓN UMBRAL DE ENERGÍA
NUEVO AGENTE ASIGNAR VALOR DE ENERGÍA ALEATORIO ENTRE 0.2 Y 0.6
FIN INSTRUCCIÓN “REPRODUCCIÓN”
```

Figura 5. Pseudocódigo de reproducción en modelo de optimización por colonia de hormigas

```
INICIO INSTRUCCIÓN “MORTALIDAD”
INICIO INSTRUCCIÓN UMBRAL DE ENERGÍA Y LONGEVIDAD
SI NIVEL DE ENERGÍA = 0 O EDAD DEL AGENTE = 20 ENTONCES
MUERTE DEL AGENTE
FIN INSTRUCCIÓN UMBRAL DE ENERGÍA Y LONGEVIDAD
FIN INSTRUCCIÓN “MORTALIDAD”
```

Figura 6. Pseudocódigo de mortalidad en modelo de optimización por colonia de hormigas

```

INICIO INSTRUCCIÓN DE "RIQUEZA"
INICIO INSTRUCCIÓN DE RIQUEZA GRUPAL
RIQUEZA DE GRUPO = VALOR TOTAL DEL GRANO RECOGIDO POR LOS AGENTES
RIQUEZA INDIVIDUAL = RIQUEZA DE GRUPO / NÚMERO DE AGENTES "VIVOS" EN EL MODELO
FIN DE INSTRUCCIÓN DE RIQUEZA GRUPAL
INICIO INSTRUCCIÓN DE RIQUEZA INDIVIDUAL
RIQUEZA INDIVIDUAL = GRANO INMEDIATAMENTE RECOGIDO / 0.8 + RIQUEZA INDIVIDUAL
FIN DE INSTRUCCIÓN DE RIQUEZA INDIVIDUAL
FIN INSTRUCCIÓN DE "RIQUEZA"

```

Figura 7. Pseudocódigo de riqueza en modelo de optimización por colonia de hormigas

Riqueza: Este factor dentro del modelo tiene dos connotaciones una es a nivel individual donde los agentes tienen o no riqueza "grano" cuando logran hallar una fuente de alimento y comienzan a transportar dicho alimento a la colonia, lo que les asegura una porción de la riqueza llevada a nivel individual con el fin de que estos puedan llegar a sobrevivir y reproducirse. La otra connotación es grupal, pues los agentes se benefician colectivamente de la ganancia del grupo sin importar si estos llevaron o no alimento a la colonia. El total de riqueza del grupo se divide en pequeñas porciones dentro de la población de agentes en la colonia para que estos tengan un poco de energía en caso de no encontrar rápidamente fuentes de alimento alternas. En la Figura 7 se puede ver cómo está configurado el factor de riqueza dentro del modelo.

En la Figura 7 se pueden ver dos tipos de riqueza asociados a los agentes al interior del modelo, una de ellas hace referencia a la riqueza grupal y la otra a la riqueza individual. La variable riqueza de grupo está determinada por la riqueza total que han logrado conseguir los agentes, mientras que la riqueza individual está dada por dos factores, uno es equitativo para todos los agentes vivos del modelo cuyo valor está dado por la riqueza grupal dividida el total de agentes del modelo, el otro factor está dado por el grano inmediatamente recogido del piso dividido 0.8 + la riqueza individual que se ha conseguido por hacer parte del sistema.

4.2. Modelo de vacas codiciosas y vacas cooperativas.

Modelo evolutivo en el que agentes –vacas- compiten por recursos naturales, en este caso hierba o pasto. Incluye dos clases de agentes; vacas egoístas y vacas cooperativas. Las vacas más exitosas, las que consigan más pasto, se reproducen más y en consecuencia son más exitosas evolutivamente.

El modelo incluye dos tipos de individuos, los "greedy" o "egoístas" y los "cooperative" o "solidarios", cada uno de los cuales muestra un comportamiento diferente a la hora de conseguir recursos naturales. Con este modelo se puede analizar cada una de las dos estrategias alimenticias y comprender sus consecuencias cuándo compiten entre ellas dentro de una población, en un determinado espacio, y a lo largo del tiempo.

Para cada individuo se controlan las siguientes variables:

- Estado energético, con esta energía será capaz de moverse para conseguir alimento y reproducirse, pero sin ella morirá.

- Localización o unidad de ambiente que está ocupando en cada paso de tiempo (varios individuos pueden ocupar una misma unidad de ambiente, sin limitación en su capacidad máxima)
- Estrategia o tipo de comportamiento en relación al uso del recurso energético que se identifica con la ingesta de hierba, pudiendo ser "egoísta" o "solidario".

Cada unidad ambiente o parcela viene caracterizada por la cantidad de hierba que contiene (altura de ésta).

Las reglas de comportamiento para los individuos que se realizan en cada paso de programa son:

1. Movimiento aleatorio en un radio determinado con un gasto energético que se puede asociar al metabolismo
2. Ingesta de hierba en su parcela que le permitirá adquirir energía; los animales "solidarios" comprobarán antes de alimentarse que exista un nivel mínimo de unidades de hierba disponibles i, si no es así, no se alimentarán, mientras que los animales "egoístas" se alimentarán siempre que haya hierba disponible
3. Reproducción si su energía es suficiente, con la aparición de un descendiente en su misma posición y que asumirá su misma estrategia alimentaria, también con un coste energético
4. Muerte si su energía es nula.

Las acciones sobre la hierba son el crecimiento de ésta después de que haya sido ingerida por los individuos. En cada paso de tiempo, y aleatoriamente, la hierba puede o no crecer dependiendo de su altura, mayor probabilidad para una altura de hierba no inferior a un valor específico, y menor probabilidad por debajo de esa altura.

En relación a la emergencia podemos indicar que la dinámica de la población no ha estado preconcebida por ninguna función ni definida previamente, sino que surge, aparece como resultado de la interacción del comportamiento de los dos tipos de individuos que la configuran, los cuales deben adaptarse a la cantidad de hierba disponible que encuentran en su entorno. No hay ni tasa de crecimiento, ni de reproducción, ni de mortalidad constante para los individuos, la evolución temporal del número de individuos "egoístas" y de "solidarios" es la consecuencia de la energía que pueden conseguir en su entorno, de las condiciones del medio en el que se desarrollan. No hay adaptación individual ya que la estrategia alimentaria del individuo no cambia ni se modifica, se mantiene durante toda su existencia. En el ámbito de la biología, la finalidad es el éxito de un individuo de pasar sus genes a las siguientes generaciones. En este caso, la finalidad de los individuos es sobrevivir como comunidad, es decir, que su comportamiento a la hora de alimentarse les permita existir como colectivo, ya que a nivel individual el modelo no les permite variar su estrategia de alimentación.

En relación a la estructura del modelo en cuanto a las características que son de interés para esta investigación tenemos.

Factor social "capacidad de asocio": Este factor depende de qué tipo de agente se hable, las vacas codiciosas no tienen factor de asocio ya que estas consumen la hierba independientemente de si esto afecta o no a las siguientes generaciones de agentes, en el corto plazo esto les da una ventaja

energética y por lo tanto se prolonga la vida de estas por un tiempo determinado pero en el largo plazo esta estrategia lleva al exterminio de la especie. Por el contrario las vacas cooperativas en el corto plazo no adquieren tanta hierba del ambiente y en ocasiones mueren por no comer la hierba que se encuentra en el sitio, pero a largo plazo las vacas que cooperan tienen éxito si se habla de conservación de la especie ya que siempre vuelve a crecer pasto donde estas se alimentan o es muy grande la probabilidad de que esta vuelva a surgir. En la Figura 8 se puede ver cómo está configurado el factor social dentro del modelo.

En la Figura 8 se muestra el pseudocódigo del factor social que se desarrolla en el interior del modelo, en esta se puede notar como tanto la hierba como la ingesta de esta depende de cómo está configurado el agente en principio, ya que la hierba si está por encima de un umbral de crecimiento adecuado rebrota con facilidad, pero si es consumida por debajo de este umbral, su crecimiento se hace dificultoso y en ocasiones no se da. Por otro lado la ingesta de la hierba depende del agente que la vaya a consumir, si el agente es codicioso, consume hasta dejar la hierba en cero, si el agente es cooperativo este consume la hierba hasta el umbral óptimo de crecimiento.

Reproducción: Esta se da cuando la energía total del individuo supera el umbral establecido para la reproducción, cuando esto sucede la energía del individuo disminuye y nace un nuevo agente con las mismas características del agente anterior en cuanto a estrategia alimentaria, energía y posición. Los agentes pueden dar paso a varios agentes a través de la simulación siempre que logren alcanzar el nivel de energía establecido para la reproducción. En la Figura 9 se puede ver cómo está configurado el factor de reproducción dentro del modelo.

En la Figura 9 se puede ver que la reproducción únicamente depende del nivel de energía del agente, y la disminución de esta se da cuando el agente da paso al nuevo individuo.

```

INICIO FUNCIÓN "FACTOR SOCIAL"
INICIO FUNCIÓN CRECIMIENTO DE HIERBA
SI HIERBA >= UMBRAL
CRECIMIENTO DE HIERBA PROBABILIDAD ALTA
DE LO CONTRARIO
CRECIMIENTO DE HIERBA PROBABILIDAD BAJA
FIN FUNCIÓN CRECIMIENTO DE HIERBA
INICIO FUNCIÓN ALIMENTACIÓN VACAS
SI VACAS SON COOPERATIVAS
COMER HASTA UMBRAL ÓPTIMO DE CRECIMIENTO DE HIERBA
SI VACAS SON CODICIOSAS
COMER HASTA UMBRAL CERO DE CRECIMIENTO DE HIERBA
FIN FUNCIÓN ALIMENTACIÓN VACAS
FIN FUNCIÓN FACTOR SOCIAL

```

Figura 8. Pseudocódigo de factor social en modelo de vacas codiciosas y cooperativas

```

INICIO FUNCIÓN DE REPRODUCCIÓN
SI ENERGÍA > UMBRAL DE REPRODUCCIÓN
CREAR NUEVO AGENTE
ENERGÍA = ENERGÍA - COSTO DE REPRODUCCIÓN
FIN FUNCIÓN DE REPRODUCCIÓN

```

Figura 9. Pseudocódigo de reproducción en modelo de vacas codiciosas y cooperativas

Mortalidad: Este factor depende única y exclusivamente del metabolismo de la vaca, es decir del nivel de grano “hierba” que el agente ha consumido. Este recurso está distribuido al azar en el ambiente y los agentes se desplazan con el fin de obtenerlo, si el agente gasta toda su energía y no es capaz de conseguir más de la hierba disponible, el agente muere. En este caso los agentes solo mueren por falta de energía y no por longevidad es decir los agentes en el modelo de vacas codiciosas no tienen edad. Por lo tanto si tienen un nivel de energía óptimo a través de toda la simulación el agente puede “vivir” todo el tiempo que dure corriendo la simulación. En la Figura 10 se puede ver cómo está configurado el factor de mortalidad dentro del modelo.

En la Figura 10 se puede notar que el modelo solo tiene en cuenta si la energía del agente es o no menor que cero para decidir si este muere.

Riqueza: En este punto el nivel de riqueza “grano”, se mide por cuanto alimento logran obtener los agentes del medio donde se desenvuelven. La forma de conseguir dicha riqueza es muy diferente para los dos tipos de agentes que se encuentran en el modelo.

- Vacas codiciosas: Consumen la hierba siempre y cuando haya hierba en el espacio donde se encuentran sin importar el tamaño de esta, el nivel energético que se les asigna depende de la ingesta de hierba que logren obtener del suelo.
- Vacas cooperativas: Consumen la hierba siempre que esta esté por encima del umbral fijado para el rebrote de la misma es decir solo extraen hierba del ambiente hasta cierto punto en donde es favorable el crecimiento de nueva hierba, esto con el fin de no afectar a las siguientes generaciones de agentes que están por nacer o por moverse a ese sitio, el nivel energético que se le asigna depende de cuanta hierba han adquirido del espacio.

En la Figura 11 se puede ver cómo está configurado el factor de riqueza dentro del modelo, y se hace distinción por clases de agentes, si la vaca es codiciosa su riqueza aumenta hasta que la hierba llega a cero, esto se asigna a su variable de riqueza. La vaca cooperativa de igual forma obtiene cierta ganancia del suelo con la única diferencia que no se le permite llevar la hierba a cero.

```
INICIO FUNCIÓN "MORTALIDAD"  
SI ENERGÍA < 0  
AGENTE MUERE  
FIN FUNCIÓN "MORTALIDAD"
```

Figura 10. Pseudocódigo de mortalidad en modelo de vacas codiciosas y cooperativas

```
INICIO FUNCIÓN "RIQUEZA"  
INICIO DISTINCIÓN ENTRE AGENTES PARA INGESTA DE HIERBA  
SI VACAS SON CODICIOSAS  
CONSUMIR TODA LA HIERBA DEL AMBIENTE HASTA UMBRAL 0  
RIQUEZA = HIERBA CONSUMIDA  
SI VACAS SON COOPERATIVAS  
CONSUMIR HIERBA HASTA UMBRAL ÓPTIMO DE CRECIMIENTO DE HIERBA  
RIQUEZA = HIERBA CONSUMIDA  
FIN DISTINCIÓN ENTRE AGENTES PARA INGESTA DE HIERBA  
FIN FUNCIÓN "RIQUEZA"
```

Figura 11. Pseudocódigo de riqueza en modelo de vacas codiciosas y cooperativas

Capítulo 5

Diseño del modelo de interacción social entre agentes

Se implementó un modelo de interacción social entre agentes sobre la arquitectura MOJANA este modelo simula una dinámica de competencia y de cooperación entre los distintos agentes que componen MOJANA (Agricultores y Anfibios) y entre las distintas clases sociales que ya están establecidas en el modelo (clase baja, media y alta).

Los agentes en MOJANA se encuentran en un estado de exploración buscando riqueza en el territorio para poder explotarla, cuando esta es hallada el agente se establece en ese lugar hasta que detecta que debe seguir explorando debido a que el territorio ya no es apto para la explotación.

En el momento en que el agente se establece en un lugar determinado comienza un proceso que se denomina estigmergia [59], dicho proceso está definido como la colaboración a través de un medio físico, en los sistemas descentralizados este proceso es el que se encarga de formar dinámicas colectivas, como en las colonias de hormigas donde los diferentes elementos de la colonia dejan rastros (feromonas) en el ambiente que son detectadas por los demás elementos de la colonia y es así como un comportamiento individual y a nivel micro forma una dinámica colectiva tan compleja como la de las colonias de hormigas que se puede observar a nivel macro.

Revisando las características de los modelos de interacción social entre agentes, se detectaron ciertos elementos que eran comunes a cada uno de ellos y que se revisaron en el capítulo anterior, estas características fueron tenidas en cuenta para realizar el diseño del cual se hablará en este nuevo capítulo.

5.1. Características de los modelos de interacción social entre agentes que fueron incluidos en la arquitectura MOJANA.

Reproducción: En los modelos que se implementaron en MOJANA la reproducción está dada por tres factores, primero un umbral de energía determinado (umbral de reproducción), segundo la tasa de reproducción del agente esta será variable en el modelo según se requiera y por ultimo una variable de probabilidad que determinará el momento en que el agente se pueda reproducir. En la Figura 12 se puede ver el diseño de cómo estará configurado el factor de reproducción dentro del modelo.

```
INICIO INSTRUCCIÓN "REPRODUCCIÓN"  
INICIO INSTRUCCIÓN UMBRAL DE ENERGÍA  
SI ENERGÍA ES MAYOR A UMBRAL DE REPRODUCCIÓN ENTONCES  
SI UN NÚMERO ALEATORIO DEL 0 AL 1000 ES MENOR QUE LA TASA DE REPRODUCCIÓN ENTONCES  
CREAR NUEVO AGENTE  
ENERGÍA DEL AGENTE ES IGUAL A ENERGÍA DEL AGENTE/2  
NUEVO AGENTE ASIGNAR VALOR DE ENERGÍA Y CARACTERÍSTICAS DE SU ANTECESOR  
FIN INSTRUCCIÓN UMBRAL DE ENERGÍA  
FIN INSTRUCCIÓN "REPRODUCCIÓN"
```

Figura 12. Pseudocódigo de reproducción que se implementará en el modelo de interacción social entre agentes de MOJANA

En la primera parte de la Figura 12 se puede ver que se da inicio a la función de reproducción, para luego dar inicio a la instrucción de umbral de energía, luego se compara si la energía es mayor al umbral de reproducción determinado, entonces se entra a evaluar una nueva variable que determina si un numero aleatorio del 0 al 1000 es menor a la tasa de reproducción determinada desde el inicio de la simulación, si estas condiciones se cumplen se crea un nuevo agente con las mismas características que su antecesor. Luego la energía del agente se ve afectada y se reduce a la mitad del valor que tenía antes de reproducirse, es así como se da fin a las dos instrucciones referentes a la reproducción del agente.

Mortalidad: En los modelos que se implementarán en MOJANA la mortalidad estará dada por dos factores, esto con el fin de controlar la población del modelo. Estos dos factores funcionarán de igual forma tanto para agentes ricos, clase media y pobres, por lo que su condición social no afectará el hecho de ser susceptible a la muerte, pero si se tiene más probabilidad de morir entre menos energía (riqueza) se tenga. Los factores que harán que los agentes mueran son la falta de energía y la expectativa de vida del agente. En la Figura 13 se puede ver el diseño de cómo estará configurado el factor de mortalidad dentro del modelo.

Al inicio de la Figura 13, se tiene la instrucción de mortalidad, consecutivo a esto se inicia la instrucción de umbral de energía y expectativa de vida, luego de esto se entra a evaluar si el nivel de energía es menor o igual a 0, o la edad del agente es mayor a la expectativa de vida, si alguna de estas condiciones se cumplen el agente muere ya sea por falta de energía o por vejes.

Riqueza: En los modelos que se implementarán en MOJANA la riqueza será parte del sostenimiento de los mismos, pues de este factor dependen otros factores como la reproducción y la mortalidad de los agentes. La riqueza será el motor de los agentes es decir su energía, es por medio de este factor que los agentes podrán desplazarse en busca de más territorios ricos para explotar. La falta de este recurso hace que los agentes mueran o que no puedan reproducirse y sostener su clase. Los niveles de riqueza medirán en que clase social se ubicará el agente ya sea clase alta, media o baja, depende de cuanta riqueza posean los agentes con respecto al agente más “rico” de la población. Así quienes posean menos de 1/3 de la riqueza del más rico serán catalogados como pobres, los que tengan menos de 2/3 de la riqueza del más rico serán de clase media y los que tengan más de 2/3 de la riqueza del más rico también serán ricos. En la Figura 14 se puede ver el diseño de cómo estará configurado el factor de riqueza dentro del modelo.

```
INICIO INSTRUCCIÓN "MORTALIDAD"  
INICIO INSTRUCCIÓN UMBRAL DE ENERGÍA Y EXPECTATIVA DE VIDA  
SI NIVEL DE ENERGÍA ES MENOR O IGUAL A 0 Ó LA EDAD DEL AGENTE ES MAYOR A LA EXPECTATIVA DE  
VIDA ENTONCES  
MUERTE DEL AGENTE  
FIN INSTRUCCIÓN UMBRAL DE ENERGÍA Y EXPECTATIVA DE VIDA  
FIN INSTRUCCIÓN "MORTALIDAD"
```

Figura 13. Pseudocódigo de mortalidad que se implementará en el modelo de interacción social entre agentes de MOJANA


```

INICIO INSTRUCCIÓN DE "RIQUEZA"
SI AGENTE AVANZA UN PASO
RIQUEZA RÉSTELE UNA UNIDAD
SI AGENTE EXPLOTA LOS RECURSOS DEL TERRITORIO
RIQUEZA SÚMELE RIQUEZA EN CELDAS
INICIO INSTRUCCIÓN ASIGNACIÓN DE CLASES POR FACTOR RIQUEZA
SI LA RIQUEZA DEL AGENTE ES MENOR O IGUAL A 1/3 DE LA RIQUEZA DEL AGENTE MÁS RICO ENTONCES
AGENTE POBRE
DE LO CONTRARIO.      SI LA RIQUEZA DEL AGENTE ES MENOR O IGUAL A 2/3 DE LA RIQUEZA DEL
AGENTE MÁS RICO ENTONCES
AGENTE CLASE MEDIA
DE LO CONTRARIO SI LA RIQUEZA DEL AGENTE ES MAYOR A 2/3 DE LA RIQUEZA DEL MÁS RICO ENTONCES
AGENTE RICO
FIN INSTRUCCIÓN ASIGNACIÓN DE CLASES POR FACTOR RIQUEZA
FIN INSTRUCCIÓN DE "RIQUEZA"

```

Figura 14. Pseudocódigo de riqueza que se implementará en el modelo de interacción social entre agentes de MOJANA

El pseudocódigo de la Figura 14 comienza con una acción que hace referencia al movimiento de los agentes así si el agente avanza un paso, a la riqueza del agente se restara una unidad ya que la riqueza que adquiere es también la que le da la movilidad. Luego si el agente explota los recursos del territorio a la riqueza del agente se sumara la riqueza que se encontraba en la celda.

Después de esto se iniciará la instrucción de asignación de clases por el factor de riqueza que se tenga, entonces si la riqueza del agente es menor o igual a $1/3$ de la riqueza del agente más rico se le asignará al agente la clase baja, de lo contrario se entraran a evaluar dos opciones si la riqueza del agente es menor a $2/3$ de la riqueza del agente más rico entonces el agente pertenecerá a la clase media, de lo contrario si la riqueza del agente es mayor a $2/3$ de la riqueza del agente más rico del modelo entonces el agente será parte de la clase alta de MOJANA.

Siguiendo con el diseño se tiene el último de los factores a tener en cuenta a la hora de implementar el modelo de interacción social entre agentes sobre la arquitectura MOJANA, este es el **factor social "capacidad de socio"**, este factor será el que divida el modelo en dos sub modelos, en los que estarán inmersos las dinámicas tanto de competencia como de cooperación entre agentes.

5.2. Modelo 1 de interacción social entre agentes con dinámica de cooperación y competencia.

Según investigaciones del comportamiento humano en sociedad las actitudes y alianzas entre las diferentes clases sociales varían significativamente entre los individuos pertenecientes a cada clase [60, 61, 62], basado en esto se diseñaron los comportamientos de los agentes de MOJANA para que se lleven a cabo las interacciones sociales entre clases, dichos comportamientos son descritos por clases.

Clase baja: cuando los agentes de clase baja se establecen en un territorio estos explotan el terreno dependiendo de ciertas reglas de comportamiento ligadas a su clase. Las reglas básicas del agente varían según los vecinos que este tenga y a que clase pertenecen de la siguiente forma.

- El agente de clase baja está rodeado de agentes clase alta (A), baja (B) o no tiene vecinos (N) en su vecindad de Moore. El agente decide tomar todos los recursos de la tierra para su beneficio individual, pues el con los mismos individuos de su clase tiende a competir y en este modelo no trabaja para la clase alta (Figura 15 a).
- El agente de clase baja está rodeado de algún agente clase media (M) en su vecindad de Moore, El agente decide cooperar con el agente de clase media, pues para este trabaja, y los recursos que extrae del suelo son compartidos o mejor inyectados en cierta cantidad en la riqueza del agente de clase media [60] (Figura 15 b).

Clase Media: cuando los agentes de clase media se establecen en un territorio estos explotan el terreno dependiendo de ciertas reglas de comportamiento ligadas a su clase. Las reglas básicas del agente varían según los vecinos que este tenga y a que clase pertenecen de la siguiente forma.

- El agente de clase media está rodeado de agentes clase media (M), baja (B) o no tiene vecinos (N) en su vecindad de Moore. El agente decide tomar todos los recursos de la tierra para su beneficio individual, pues el con los mismos individuos de su clase tiende a competir y en este modelo no trabaja para la clase baja ni les ayuda económicamente (Figura 15 c).
- El agente de clase media está rodeado de algún agente clase alta (A) en su vecindad de Moore, El agente decide cooperar con el agente de clase alta, pues es a través del conocimiento técnico y mano de obra especializada que los agentes de clase media ayudan a la clase alta a volverse más ricos y a preservar su riqueza [62] (Figura 15 d).

Clase alta: cuando los agentes de clase alta se establecen en un territorio estos explotan el terreno dependiendo de ciertas reglas de comportamiento ligadas a su clase. Las reglas básicas del agente varían según los vecinos que este tenga y a que clase pertenecen de la siguiente forma.

- El agente de clase alta está rodeado de agentes clase media (M), alta (A) o no tiene vecinos (N) en su vecindad de Moore. El agente decide tomar todos los recursos de la tierra para su beneficio individual, pues el con los mismos individuos de su clase tiende a competir y en este modelo no trabaja para la clase media ni les ayuda económicamente (Figura 15 e).
- El agente de clase alta está rodeado de algún agente clase baja (B) en su vecindad de Moore, El agente decide cooperar con el agente de clase baja, pues este le da al agente de clase baja (campesino) un pago por su trabajo, pues para el agente de clase baja no es suficiente lo que logra extraer del piso para sobrevivir, este necesita del pago de su “patrón” en dinero (riqueza) para poder sustentarse [61] (Figura 15 f).

A/B/N	A/B/N	A/B/N
A/B/N	B	A/B/N
A/B/N	A/B/N	A/B/N

(a)

M	M/A/B/N	M/A/B/N
M/A/B/N	B	M/A/B/N
M/A/B/N	M/A/B/N	M/A/B/N

(b)

M/B/N	M/B/N	M/B/N
M/B/N	M	M/B/N
M/B/N	M/B/N	M/B/N

(c)

A	M/A/B/N	M/A/B/N
M/A/B/N	M	M/A/B/N
M/A/B/N	M/A/B/N	M/A/B/N

(d)

M/A/N	M/A/N	M/A/N
M/A/N	A	M/A/N
M/A/N	M/A/N	M/A/N

(e)

B	M/A/B/N	M/A/B/N
M/A/B/N	A	M/A/B/N
M/A/B/N	M/A/B/N	M/A/B/N

(f)

Figura 15. Reglas de comportamientos de los agentes según su clase para el modelo de interacción entre agentes 1. (a) Agente clase baja en estado competitivo, (b) Agente clase baja en estado cooperativo, (c) Agente clase media en estado competitivo, (d) Agente clase media en estado cooperativo, (e) Agente clase alta en estado competitivo, (f) Agente clase alta en estado cooperativo

5.3. Modelo 2 de interacción social entre agentes con dinámica de cooperación y competencia.

Distintos autores como M. Van der Linden, Hannes Siegrist, e incluso distinguidos pensadores como Tomas Moro en la Utopía y Platón en la Republica intentan plantear un modelo de sociedad equitativo e ideal para los individuos [63, 64]. Por medio de simulaciones se pueden llegar a realizar algunas de estas ideas e intentar analizar qué sucedería si alguno de estos modelos se pone en marcha, cabe destacar que estos modelos no necesariamente arrojan una realidad absoluta de lo que realmente pasaría en la sociedad.

De acuerdo con los libros mencionados y artículos revisados en la literatura surgen entonces las reglas que caracterizan este segundo modelo, el cual también se divide en clases y tiene dinámicas distintivas para cada agente, las cuales llevan a un comportamiento macro que será analizado más adelante en este libro.

Clase baja: cuando los agentes de clase baja se establecen en un territorio estos explotan el terreno dependiendo de ciertas reglas de comportamiento ligadas a su clase. Las reglas básicas del agente varían según los vecinos que este tenga y a que clase pertenecen de la siguiente forma.

- El agente de clase baja está rodeado de agentes clase alta (A), media (M) o no tiene vecinos (N) en su vecindad de Moore. El agente decide tomar todos los recursos de la tierra para su beneficio individual, pues el solamente está programado con la regla de ayudar a sus semejantes en cuanto a clase se refiere en los demás caso el agente es competitivo (Figura 16 a).
- El agente de clase baja está rodeado de algún agente clase baja (B) en su vecindad de Moore, El agente decide cooperar con el agente de clase baja, pues este basado en el concepto de la igualdad ayuda a sus semejantes [63] (Figura 16 b).

Clase Media: cuando los agentes de clase media se establecen en un territorio estos explotan el terreno dependiendo de ciertas reglas de comportamiento ligadas a su clase. Las reglas básicas del agente varían según los vecinos que este tenga y a que clase pertenecen de la siguiente forma.

- El agente de clase media está rodeado de agentes clase alta (A), o no tiene vecinos (N) en su vecindad de Moore. El agente decide tomar todos los recursos de la tierra para su beneficio individual, pues el con los individuos de clase superior a él no colabora ya que estos tienen demasiados recursos (Figura 16 c).
- El agente de clase media está rodeado de algún agente clase baja (B) o media (M) en su vecindad de Moore, El agente decide cooperar con el agente de clase baja o media, pues con su “ideal” de sociedad equitativa cree que lo mejor es ayudar a sus semejantes y los menos favorecidos [64] (Figura 16 d).

Clase alta: cuando los agentes de clase alta se establecen en un territorio estos explotan el terreno dependiendo de ciertas reglas de comportamiento ligadas a su clase. Las reglas básicas del agente varían según los vecinos que este tenga y a que clase pertenecen de la siguiente forma.

- El agente de clase alta está rodeado de agentes clase alta (A) o no tiene vecinos (N) en su vecindad de Moore. El agente decide tomar todos los recursos de la tierra para su beneficio individual, pues el con los mismos individuos de su clase tiende a competir (Figura 16 e).
- El agente de clase alta está rodeado de algún agente clase baja (B), o media (M) en su vecindad de Moore, El agente decide cooperar, pues también es consiente que la sociedad debería ser equitativa y por esta razón decide donar parte de sus recursos con sus vecinos [63] (Figura 16 f).

A/M/N	A/M/N	A/M/N
A/M/N	B	A/M/N
A/M/N	A/M/N	A/M/N

(a)

B	M/A/B/N	M/A/B/N
M/A/B/N	B	M/A/B/N
M/A/B/N	M/A/B/N	M/A/B/N

(b)

A/N	A/N	A/N
A/N	M	A/N
A/N	A/N	A/N

(c)

B/M	M/A/B/N	M/A/B/N
M/A/B/N	M	M/A/B/N
M/A/B/N	M/A/B/N	M/A/B/N

(d)

A/N	A/N	A/N
A/N	A	A/N
A/N	A/N	A/N

(e)

B/M	M/A/B/N	M/A/B/N
M/A/B/N	A	M/A/B/N
M/A/B/N	M/A/B/N	M/A/B/N

(f)

Figura 16. Reglas de comportamientos de los agentes según su clase para el modelo de interacción entre agentes 2. (a) Agente clase baja en estado competitivo, (b) Agente clase baja en estado cooperativo, (c) Agente clase media en estado competitivo, (d) Agente clase media en estado cooperativo, (e) Agente clase alta en estado competitivo, (f) Agente clase alta en estado cooperativo

Adicionalmente todos los sub modelos estarán desarrollándose sobre un territorio que estará basado en el modelo de vacas codiciosas y vacas cooperativas en donde la riqueza (grano) depende de cómo sea explotado el territorio. Inicialmente estará configurado aleatoriamente para que en ciertos lugares haya riqueza y en otros se encuentre en menor cantidad. El renacimiento o no de la riqueza depende de varios factores como la explotación del suelo y la inversión que hagan los agentes sobre cada parche del territorio.

Los agentes estarán en constante búsqueda cuando no encuentren un territorio apto para la explotación sin importar la clase social a la que pertenecen y tenderán a formar comunidades en distintas partes del territorio.

Del estado del terreno donde estén los agentes dependerá si el agente es agrícola o anfibio, y de su nivel económico y de la ayuda que puedan recibir o no y aportar o no a sus vecinos dependerá la dinámica a nivel macro que podamos observar en los distintos sub modelos de interacción social que serán incluidos en la arquitectura MOJANA.

Capítulo 6

Implementación del diseño

Este capítulo mostrará la forma en que se implementó el modelo de interacción social entre agentes en NetLogo, el paso a paso de la construcción del modelo, y como cada factor que se diseñó en el capítulo anterior fue incluido en la arquitectura MOJANA para poder cambiar su estructura y de esta forma ver nuevas dinámicas colectivas emergentes.

Para la descripción del modelo final se usó como base el protocolo estándar para la descripción de modelos basados en agentes "ODD" [51].

6.1. Información general

Esta sección se subdivide en tres partes propósito, variables y escalas de estado, descripción y planificación de procesos, las cuales tienen como objetivo dar una visión general del modelo implementado.

6.1.1. Propósito

El propósito del trabajo presentado es poder simular un modelo de interacción social entre agentes artificiales para ser incluido en la arquitectura MOJANA. Esto con el fin de plantear algunas nuevas formas de interacción dinámicas emergentes del modelo. Que puedan arrojar nuevos y distintos resultados que lleven a pensar en distintas formas de aprovechamiento del suelo o de alguna forma organizacional de la sociedad que habita en la zona con simples reglas de comportamiento individual y descentralizado.

6.1.2. Variables y escalas de estado

Los agentes en MOJANA tienen ciertas características que los definen como individuos y les da una particularidad propia de los sistemas de interacción social entre agentes. Como parte de estas características están la forma en que se reproducen los agentes, la mortalidad que existe en el modelo, la riqueza que los separa en clases sociales de acuerdo con cuanto posean o no los agentes con respecto a los demás individuos del modelo, y el factor social o capacidad de asocio.

Riqueza

La riqueza en el modelo se repartió de forma aleatoria en cada celda del "mundo", de esta forma algunos parches de la rejilla son óptimos para la explotación y algunos no lo son. Los agentes a su vez tienen su propia riqueza que para ellos está dada en energía, esta es la misma riqueza que extraen del piso y es la que les da la energía necesaria para sus movimientos, reproducción y la que evita que estos mueran.

En cuanto a la riqueza inicial de cada agente, estos nacen con un valor aleatorio que va desde un mínimo para su supervivencia hasta el máximo elegido en la programación inicial del modelo, es decir aleatoriamente nacen agentes ricos, clase media y pobres..

Cada agente es libre de extraer ganancias de la celda que elija, pero estos tienden a buscar las celdas que posean más riquezas, a su vez el agente interactúa con el suelo no solo extrayendo riqueza de él si no también invirtiendo un poco de su ganancia en el suelo para que este rebrote y sea apto para la nueva explotación.

Reproducción

La reproducción en el modelo está determinada por tres elementos, uno de ellos se puede asignar al inicio de la simulación y los otros dos dependen de probabilidades y de niveles energéticos de los agentes.

El modelo inicia con un número de agentes determinado, de 0 a 200 para los agentes agrícolas y lo mismo para los agentes anfibios. Cada agente del modelo está en condiciones de reproducirse, pero en cada paso de tiempo entra en juego una probabilidad de reproducción determinada por la tasa de reproducción que tenga el modelo y por un número variable de 1 a 1000. Esta variable en cada tick del programa se actualiza y se comprueba si esta es menor a la tasa de reproducción. Cuando esto pasa el agente se reproduce, y nace un nuevo agente con las mismas características de su antecesor.

Mortalidad

La mortalidad en el modelo fue necesaria incluirla para el control de la población del territorio, los agentes mueren cuando cumplen la edad que se le estipule a cada uno como expectativa de vida, esta edad es variable de agente a agente, inicialmente se puede elegir cual será la máxima expectativa de vida de los agentes, y los agentes creados al comienzo del programa tendrán asignada una edad aleatoria que estará por debajo de la expectativa de vida establecida.

Otra factor que influye en la mortalidad de los agentes es la energía, cuando los agentes agotan su energía por movimientos, y no logran encontrar una nueva fuente de ingreso de esta, el agente desaparece del “mundo”.

La reproducción y mortalidad en el modelo controlan cuanta población hay en el territorio, de estos dos factores depende la cantidad de agentes que se muestran en el “mundo”.

Factor social “capacidad de asocio”

El factor social en el modelo está dado por la capacidad que se les dio a los agentes de tener dinámicas de cooperación y competencia entre sí, se diseñaron dos sub modelos con diferentes tipos de reglas para comparar sus variaciones globales es decir para comparar las dinámicas a nivel macro que estos modelos arrojen.

6.1.3. Visión general y planificación de procesos

El modelo está sujeto a cambios ambientales que determinan de alguna forma el curso que tomará la simulación, dichos cambios son aleatorios y globalmente arrojan diferentes modelos dependiendo del curso que estos tomen.

Los cambios ambientales en el modelo como las inundaciones y la riqueza del terreno hacen que los agentes decidan si es conveniente explorar o establecerse en un sitio y si es mejor ser un agente

agrícola o un anfibio. Dependiendo del nivel económico del territorio donde estén los agentes y de la riqueza que estos posean, los agentes se clasifican en distintas clases sociales y son regidos por reglas de acuerdo al grupo que pertenezcan en la Tabla 4 se puede ver un resumen de los agentes encontrados en MOJANA.

Agente	Tipo	Clase	Estado	Actitud	Forma y color
1	Agrícola	Alta	Exploración	No	
2	Agrícola	Alta	Establecido	Competencia	
3	Agrícola	Alta	Establecido	Colaboración	
4	Agrícola	Media	Exploración	No	
5	Agrícola	Media	Establecido	Competencia	
6	Agrícola	Media	Establecido	Colaboración	
7	Agrícola	Baja	Exploración	No	
8	Agrícola	Baja	Establecido	Competencia	
9	Agrícola	Baja	Establecido	Colaboración	
10	Anfibio	Alta	Exploración	No	
11	Anfibio	Alta	Establecido	Competencia	
12	Anfibio	Alta	Establecido	Colaboración	
13	Anfibio	Media	Exploración	No	
14	Anfibio	Media	Establecido	Competencia	
15	Anfibio	Media	Establecido	Colaboración	
16	Anfibio	Baja	Exploración	No	
17	Anfibio	Baja	Establecido	Competencia	
18	Anfibio	Baja	Establecido	Colaboración	

Tabla 4. Diferentes tipos y clases de agentes en MOJANA

6.2. Conceptos de diseño

Los conceptos de diseño que se tuvieron en cuenta proporcionan un marco común para la implantación del modelo, dichos conceptos muestran un esquema general de la estructura del modelo implementado.

Aparición: la emergencia del modelo depende de la dinámica global que surge luego de las interacciones de los agentes entre sí y con el medio. A nivel global el sistema muestra comportamientos diferentes que serán estudiados en detalle en el siguiente capítulo donde se analizarán y compararán los resultados obtenidos luego de la implementación del sistema de interacción social entre agentes y la arquitectura MOJANA cuando no poseía dicho modelo.

Adaptación: con respecto a la adaptación de los agentes se tiene que estos varían su estado y su clase dependiendo de su nivel económico (interacción entre agentes) y del sitio o terreno donde se encuentran (interacción con el medio), dichas variaciones se pueden ver en resumen en la Tabla 4.

Predicción: Según se cree, con las reglas básicas que se implementaron en cada agente en forma individual, el sistema debería mostrar una sociedad más equitativa donde la clase baja disminuya y predomine la clase media en el modelo. Esto sería lo que se esperaría con el modelo de interacción social entre agentes que se implementó una disminución de la pobreza y un mejor aprovechamiento del suelo y de la riqueza distribuida en el “mundo”.

Detección: los agentes de acuerdo al estado del terreno deciden si adaptarse a este o no, lo hacen de acuerdo a las variables del territorio como parcela seca o con agua y/o parcela con riqueza o no apta para la explotación, esto determina si el agente es anfibio o agrícola y si está en un estado de exploración o establecido.

Interacción: la interacción de los agentes es la clave del modelo ya que estos interactúan entre si y son regidos por ciertas reglas de comportamiento dependiendo la clase social a la que pertenecen y la estocasticidad de los vecinos que los rodeen en su vecindad de Moore. La razón básica por la que se escogieron estas reglas esta explicada en detalle en [63] donde se da una visión de una sociedad igualitaria y un poco más utópica que las que existen en la sociedad actualmente. Los agentes pertenecen a grupos sociales donde cada grupo tiene distintas reglas que los llevan a tomar diferentes decisiones dependiendo del medio y de los agentes en su vecindad dichos grupos sociales y reglas son explicados en detalle en el capítulo anterior.

Observación: En cuanto a la observación de los resultados que arrojó la implementación del modelo, en el próximo capítulo se dedicará gran parte de este al análisis y comparación del modelo con el antiguo sistema sin la implementación del modelo de interacción social entre agentes. A su vez se hará la comparación de los dos submodelos creados para comparar resultados y ver como ciertas reglas básicas configuradas en cada agente arrojan distintos resultados en el sistema a nivel macro.

6.3. Detalles

Como parte de los detalles de la implementación se describirá la forma en que funciona el modelo, las variables de entrada, inicialización del sistema y submodelos.

6.3.1. Inicialización

El modelo tiene ciertos valores que son fijos y que ya están establecidos previos a la simulación del programa, pero también existen varios valores que son variables y modificables a través de un panel de control que puede ser cambiado previo a la simulación del programa, los controles de dicho panel son mostrados en la Tabla 5.

Ambiente		
Nombre	Rango	Descripción
Mostrar-mapa	Elevation/Grain	Muestra la elevación y riqueza del terreno
Mostar-agua	On/Off	Muestra o no el agua en el territorio
Rainfall	0-0.50	Porcentaje de inundación
Porcentaje-mejo-tierra	0-25	Porcentaje de tierra buena
Max-attraction	0-30	Lo llamativo que puede ser un pedazo de terreno o parcela
Num-grano-crecimiento	0-10	Crecimiento o rebrote de la riqueza
Grain-growth-interval	0-10	Intervalo de crecimiento (grano)
Riqueza-inicial	0-200	Riqueza inicial del terreno
Agentes (Agrícolas-Anfibios)		
Nombre	Rango	Descripción
Agentes-iniciales	0-200	Número de agentes al inicio de la simulación
Tasa-reproducción-agente	0-10	Tasa de reproducción a la cual se reproducen los agentes
Contador-paciencia-agente	0-120	Tiempo en el que el agente decide si cambiar o no de estado
Angulo-búsqueda-agente	0-360	Angulo mejor terreno
Tiempo-espera-agente-asentado	0-60	Tiempo en el que el agente está establecido
Metabolismo-máximo-agente	0-20	Metabolismo de supervivencia en el modelo
Máxima-expectativa-vida	1-1000	Máxima edad a la que se puede llegar en el modelo

Tabla 5. Controles y rangos arquitectura MOJANA con modelo de interacción social entre agentes

Los valores fijos y variables del modelo tienen como base y soporte artículos tales como [60, 61, 62, 63, 64] donde se justifica como sería una sociedad más equitativa donde haya un mejor aprovechamiento del suelo y una interacción entre individuos que beneficie a todas las partes del sistema.

En el panel de control (remítase a anexos) se puede ver en la parte superior los botones para la configuración del sistema (Setup) y para arrancar la simulación (Go).

Luego de esto está la parte donde se configuran las variables de visualización del medio ambiente, entre ellas tenemos:

- Mostrar la elevación y riqueza del terreno (mostrar-mapa).
- Lo llamativo que puede ser un pedazo de terreno o parcela para un agente (mas-attraction).
- Mostrar o no el agua en el territorio (mostrar agua?)
- Crecimiento o rebrote de la riqueza en el territorio (num-grano-crecimiento)
- Porcentaje de inundación del territorio (rainfall)
- Intervalo de crecimiento del grano (grain-growth-interval)
- Porcentaje de tierra buena en el terreno (porcentaje-mejor-tierra)
- Riqueza inicial del terreno (riqueza-inicial)

Por último se encuentra la parte de la configuración de los agentes del sistema, en ella se puede configurar como debería ser el estado inicial de los agentes, a pesar de esto hay variables que no se pueden configurar en el inicio de la simulación ya que estas variables hacen que el modelo tenga la dinámica de emergencia y variación que necesita el sistema.

Esta parte del panel divide sus controles en dos una parte para agentes agrícolas y otra para anfibios, dichos controles son idénticos para las dos clases de agentes pero se pueden configurar de forma distinta. Los controles para los agentes son:

- Número de agentes iniciales (agrícolas-iniciales/anfibios-iniciales)
- Tasa de reproducción de los agentes (tasa-reprod-agric/tasa-reprod-anfib)
- Contador de paciencia de los agentes el cual determina cuanto tiempo el agente está en un estado sin pasar a otro (contador-paciencia-agrícola/contador-paciencia-anfibio)
- Ángulo de búsqueda de los agentes, determina la dirección aproximada hacia donde el agente busca la mejor zona de terreno rico (ángulo-bus-agr/ángulo-bus-anf)
- Tiempo de espera de los agentes asentados o establecidos, determina cuanto tiempo el agente se queda en un territorio o toma la decisión de pasar a estado exploración (tiempo-espera-agr-asen/ tiempo-espera-anf-asen)
- Metabolismo máximo de los agentes, configura cuanto es el máximo metabolismo que puede tener un agente para su supervivencia y el costo de vida de los mismos (metabolism-max-agr/metabolism-max-anf)
- Máxima expectativa de vida, determina cuanto es la edad máxima de la población es decir la edad máxima a la que un agente puede aspirar sin morir por falta de energía (max-expectativa-vida).

6.3.2. Entrada

Como entradas del sistema en cuanto a ambiente se refiere se tiene la inundación que determina si los agentes son agrícolas o anfibios y la aleatoriedad de la riqueza distribuida por todo el territorio. Adicionalmente a esto se tiene la interacción de los agentes con el medio, ya que como entrada de retroalimentación los agentes invierten un poco de su capital (dinero), para el rebrote del territorio y su futura nueva explotación.

6.3.3. Submodelos

Se diseñaron dos submodelos para incluir en la arquitectura MOJANA, dichos submodelos tienen distintas reglas las cuales se espera arrojen resultados que lleven a conclusiones diferentes y dinámicas de emergencia nuevas.

Modelo 1 de interacción social entre agentes con dinámica de cooperación y competencia.

Se tienen dos tipos de agentes en MOJANA, los agrícolas y los anfibios, estos agentes a su vez se dividen en tres clases respectivamente, clase alta, media y baja.

Cada agente a su vez tiene la capacidad de explorar el terreno o de asentarse según consideraciones de conveniencia para su energía. Los agentes según su clase están regidos por ciertas reglas básicas de comportamiento que determinan si estos están dispuestos a colaborar o competir por el territorio, dichos comportamiento o reglas están definidos en detalle en el capítulo anterior.

Los agentes de clase alta colaboran con la clase baja, estos se encuentran inicialmente en un estado de exploración, cuando se asientan revisan su vecindad de Moore y determinan que vecinos tienen y de que clase social son, dependiendo de esto toman la decisión de cooperar o no. Cuando detectan algún vecino de clase baja, para el modelo su “trabajador” este de su riqueza total resta una parte para la paga por sus servicios, y para el sostenimiento de la clase baja (obreros). A su vez la clase baja es beneficiada por la clase alta, y cuando el agente se acerca al agente rico, su capital se aumenta en cierta medida no solo por la riqueza extraída del piso, sino también por la que es transferida del agente de clase alta al agente de clase baja.

Los agentes de clase baja son los principales aliados en el modelo de la clase media, por ende a los agentes de clase media les conviene rodearse de agentes de clase baja, pues ellos constituyen la fuerza trabajadora que impulsa su capital, es así como la clase baja entra en modo cooperativo cuando un agente de clase media está en su vecindad de Moore, el cambio se da cuando el agente extrae del piso la riqueza y tiene que donar cierta cantidad de esa riqueza o ganancias al agente de clase media para que este aumente su capital. Igual que los agentes de clase alta, el agente de clase baja está en la capacidad de explorar el terreno y de asentarse donde mejor le parezca pero debe tomar esta decisión rápido o su energía llegará a cero y entonces el agente morirá.

Por último el agente de clase alta se beneficia cuando está rodeado de agentes de clase media, pues estos a través de su conocimiento técnico son los encargados de preservar la riqueza del agente, y de ser los “guardianes” de su capital, por lo tanto al agente de clase alta le conviene estar rodeado de agentes clase media para que estos inyecten más riqueza en su capital, la clase media está

inicialmente en exploración pero cuando se establece en un lugar revisa su vecindad y si hay algún agente de clase alta cerca este empieza a trabajar para él y para aumentar su riqueza.

Modelo 2 de interacción social entre agentes con dinámica de cooperación y competencia.

Como en el modelo anterior los agentes se dividen en tres clases, pero esta vez la dinámica de grupo cambia y las reglas que rigen a cada agente también se hacen diferentes, esperando de esta forma que el modelo arroje nuevas formas a nivel macro.

En este modelo los agentes están programados con reglas que les indican que deben ayudar a sus iguales o a los agentes de clase más baja que ellos, de esta forma los agentes tienen las siguientes instrucciones.

Si son de clase baja solo ayudarán a agentes de clase baja, y no aportarán nada a agentes cuya clase supere la suya.

Los agentes de clase media, estarán dispuestos a ayudar a los agentes de clase media, y prioritariamente a los agentes de clase baja.

Los agentes de clase alta no compartirán sus ganancias con agentes de su misma clase, son los únicos que no comparten con sus semejantes, pero estos tendrán la tarea de ayudar a sostener a las otras clases del modelo, ayudando con alta prioridad a la población menos favorecida y luego ayudando a los agentes de clase media.

Este modelo por consiguiente tiene una estructura en la que se parte de una idea de igualitarismo y equidad, en la que se intenta que la mayoría de la población tenga las mismas posibilidades de supervivencia.

Capítulo 7

Análisis de resultados

Para el análisis de resultados de las simulaciones, se contrastaron las estadísticas y datos obtenidos de la arquitectura MOJANA antes y después de incluir el modelo de interacción social entre agentes.

Partiendo de la base de que los modelos analizados poseen la misma configuración inicial en sus ajustes, para así no alterar los resultados poblacionales y que todos los comportamientos y dinámicas que se vean a nivel macro surjan por las reglas de los agentes y no por tener diferentes configuraciones en cuanto a tasas de reproducción, expectativas de vida, número inicial de agentes, riqueza del territorio, entre otros.

Los ajustes a los que están regidos los modelos mostrados en este documento se pueden observar en la Tabla 6.

Ambiente		
Nombre	Rango	Descripción
Mostrar-mapa	Grain	Elevación y riqueza del terreno
Mostar-agua	On	Muestra o no el agua
Rainfall	0.20	Porcentaje de inundación
Porcentaje-mejo-tierra	12	Porcentaje de tierra buena
Max-atraccion	25	Lo llamativo que puede ser un pedazo de terreno o parcela
Num-grano-crecimiento	5	Crecimiento o rebrote de la riqueza
Grain-growth-interval	5	Intervalo de crecimiento (grano)
Riqueza-inicial	200	Riqueza inicial del terreno
Agentes (Agricultores-Anfibios)		
Nombre	Rango	Descripción
Agentes-iniciales	100-100	Número de agentes al inicio de la simulación
Tasa-reproducción-agente	7	Tasa de reproducción a la cual se reproducen los agentes
Contador-paciencia-agente	70	Tiempo en el que el agente decide si cambiar o no de estado
Angulo-búsqueda-agente	85	Angulo mejor terreno
Tiempo-espera-agente- asentado	25	Tiempo en el que el agente está establecido
Metabolismo-máximo-agente	10	Metabolismo de supervivencia en el modelo
Máxima-expectativa-vida	845	Máxima edad a la que se puede llegar en el modelo

Tabla 6. Configuración inicial de los Modelos simulados

Luego de 1000 ticks de simulación se obtienen los resultados analizados en este Capítulo.

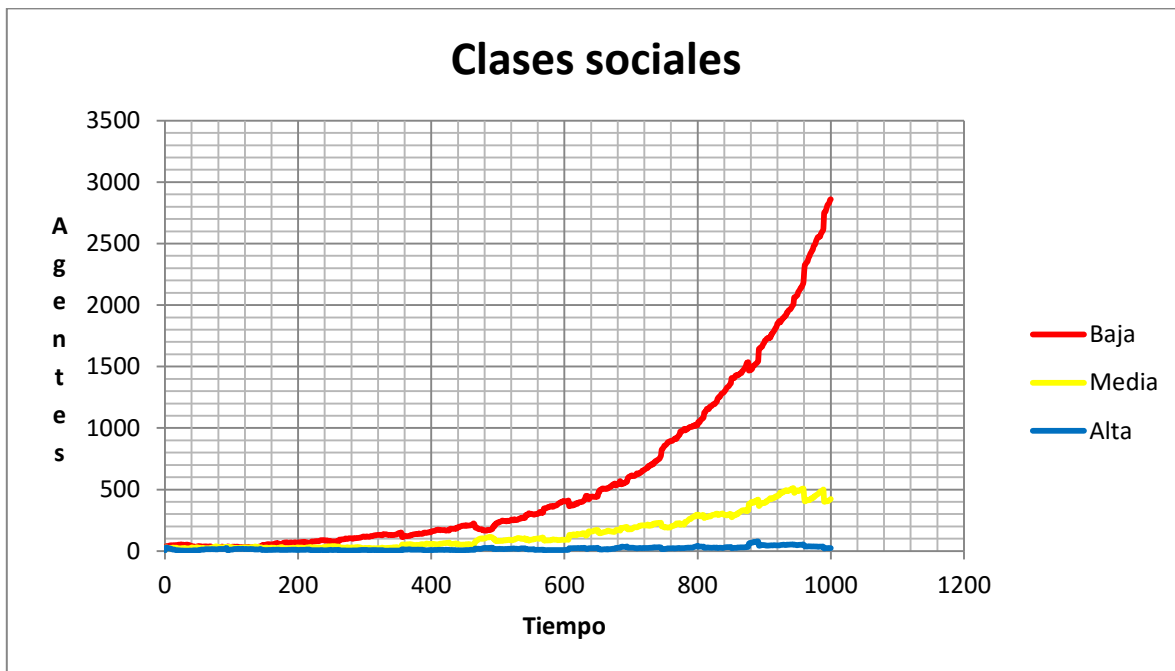


Figura 17. Arquitectura MOJANA sin modelos de interacción social entre agentes

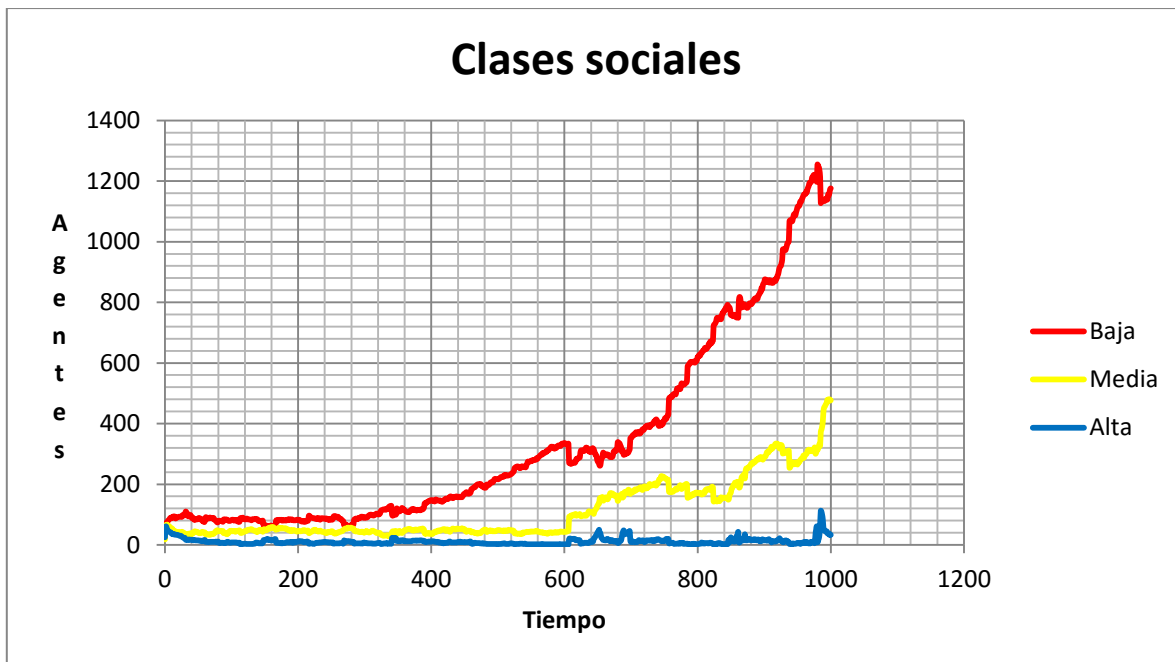


Figura 18. Primer modelo de interacción social entre agentes incluido en MOJANA

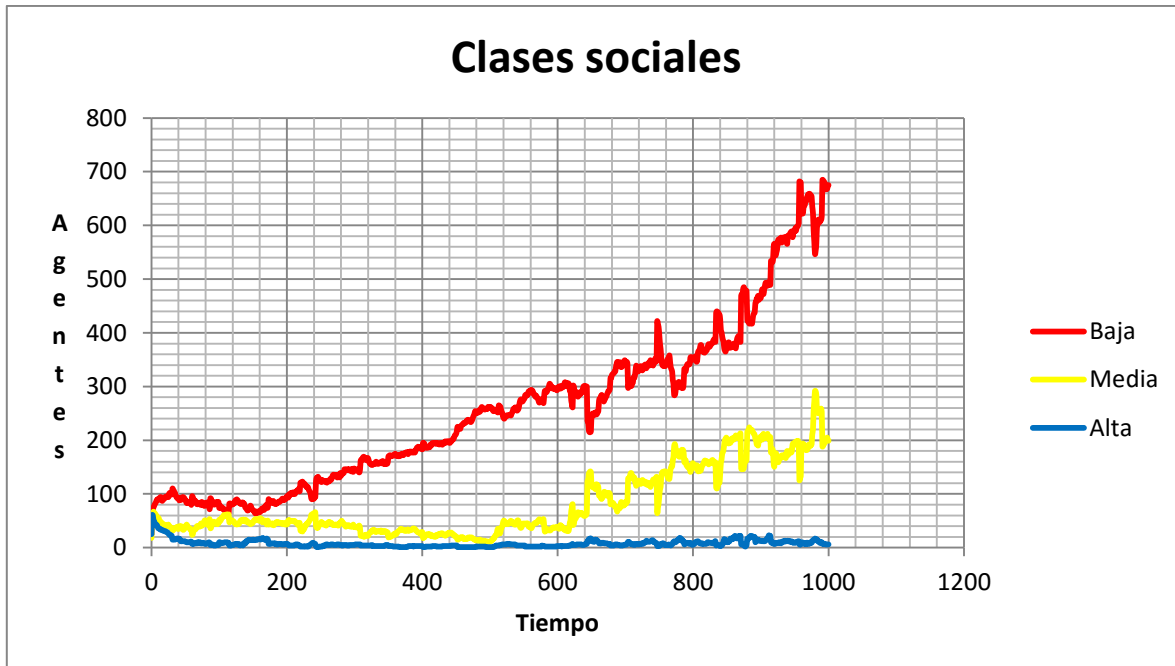


Figura 19. Segundo modelo de interacción social entre agentes incluido en MOJANA

Si se analizan las Figuras 18 y 19 con respecto a la Figura 17, se ve un ligero aumento en la población de clase alta, adicionalmente al incluir los modelos de interacción social entre agentes, se disminuye en cierta medida la sobrepoblación que se genera en la MOJANA original.

Dicho esto se puede ver que en el segundo modelo la población total de agentes disminuye considerablemente en comparación con su antecesor, esto se atribuye al comportamiento que está implícito en el modelo 2 donde todos los agentes están programados para compartir su riqueza con los agentes de clase más baja. Esta situación se vio de igual forma en distintas simulaciones que se realizaron donde el modelo 2 siempre mostro un comportamiento similar en cuanto a número de agentes “vivos”.

Por otro lado pareciera que el modelo de interacción social entre agentes 1 con sus reglas aumenta en cierta medida la población de agentes clase media y alta, disminuyendo la pobreza y aprovechando mejor la riqueza del piso, este modelo no presenta el comportamiento del segundo modelo, es decir la población si disminuye con respecto al modelo original pero se conserva una medida de esta.

La idea del modelo que se implementó es regular la riqueza de los agentes en el territorio, de esta forma no habrían las desigualdades que se presentan en el modelo original entre agentes de clase alta y clase baja, situación que también pasa en la Mojana real. Si se mide una estadística de la riqueza media de los agentes en los modelos se puede ver que existen variaciones en el tiempo que afectan a cada tipo de agente y a su forma de explorar o no el territorio.

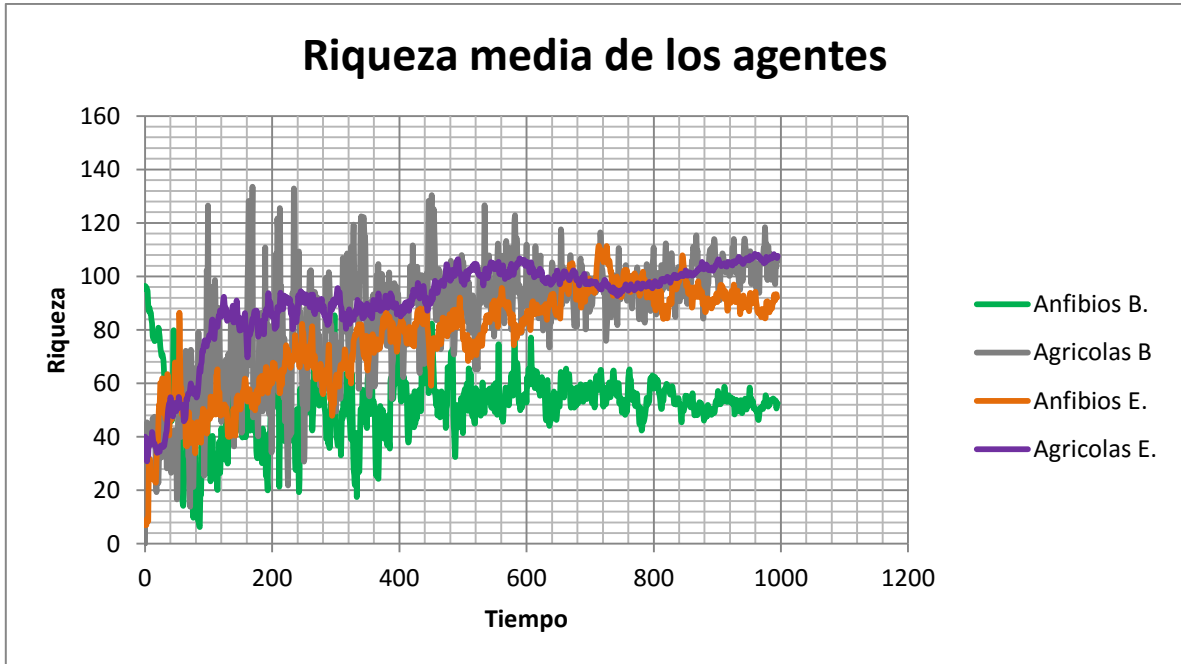


Figura 20. Riqueza media de los agentes para la arquitectura MOJANA sin inclusión de nuevos modelos

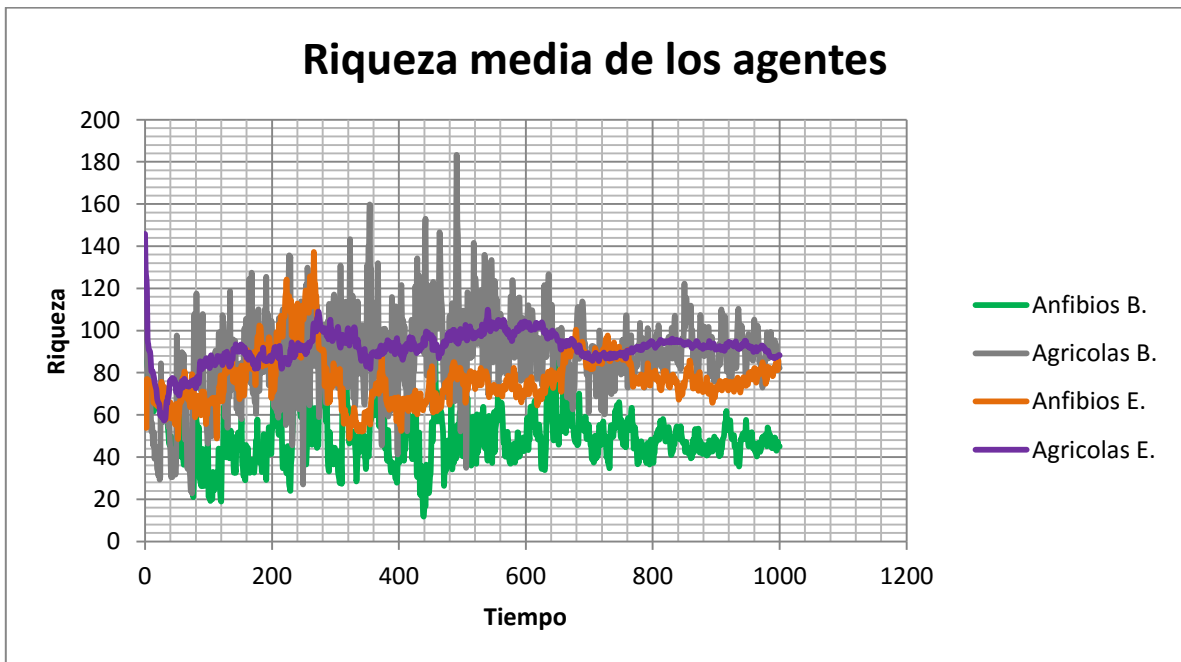


Figura 21. Riqueza media de los agentes para el modelo de interacción entre agentes 1 en MOJANA

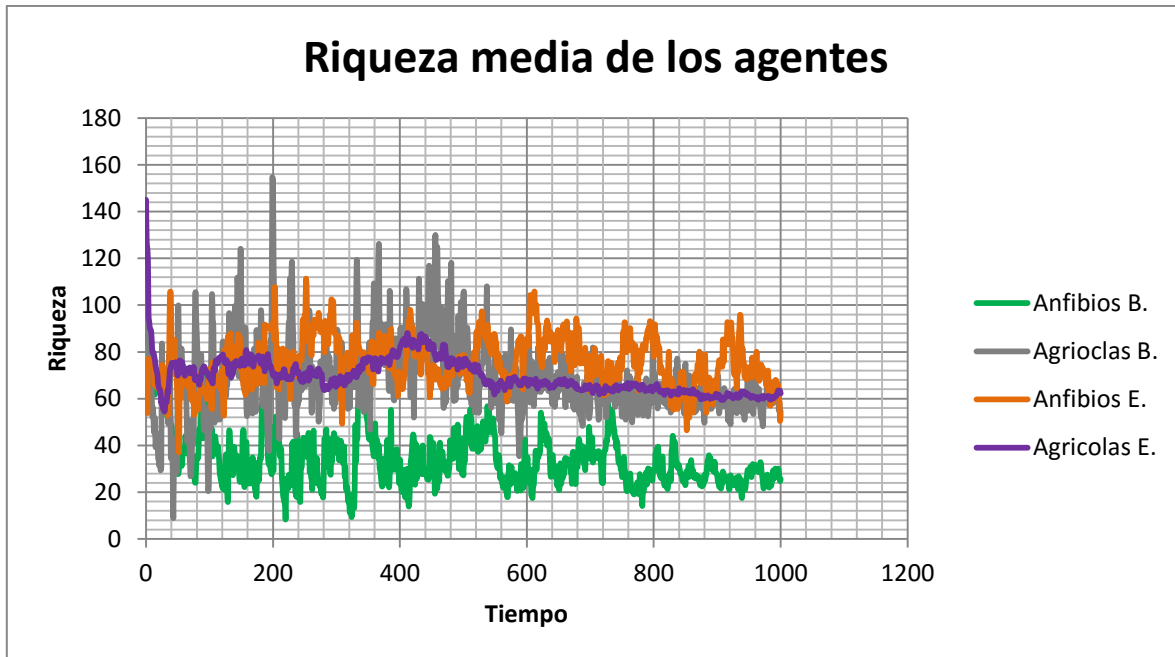


Figura 22. Riqueza media de los agentes para el modelo de interacción entre agentes 2 en MOJANA

Realizando un análisis estadístico de las gráficas presentadas en las Figuras 20, 21 y 22, se puede notar que a pesar de que en el primer modelo la riqueza media de algunos agentes superaba los 100, existían desigualdades en la población que hacían que los índices de pobreza fueran elevados, al momento de incluir los modelos de interacción social entre agentes se ve una clara disminución de la riqueza media de la población pero una convergencia a un valor de riqueza que oscila los 90 para el primer modelo y los 70 para el segundo modelo, esto para cada tipo de agente ya sea agrícola o anfibio y para su modo de búsqueda de riqueza establecido o buscador.

En los modelos analizados tanto para la arquitectura original como para los que tenían la inclusión de modelos de interacción social se pudo observar que la estrategia de búsqueda que más efectiva resulta para los agentes en MOJANA es la de los agrícolas buscadores que alcanzaron los picos más altos de riqueza media en el modelo. En contraste la estrategia en la que los agentes están por debajo de la riqueza media regular es la de los anfibios buscadores, manteniéndose un orden similar al presentado en la eco región Mojana donde pescadores y gente que vive del río son los que presentan los índices de pobreza más elevados.

Luego si se mide la competencia y colaboración en los modelos de interacción social entre agentes 1 y 2 se puede desatacar que las reglas que rigen el comportamiento de ambos modelos hicieron que emergieran dinámicas distintas para cada población, en donde la interacción con los demás agentes y con sus clases marcaban el desarrollo de la simulación y el comportamiento de los agentes que allí participaban.

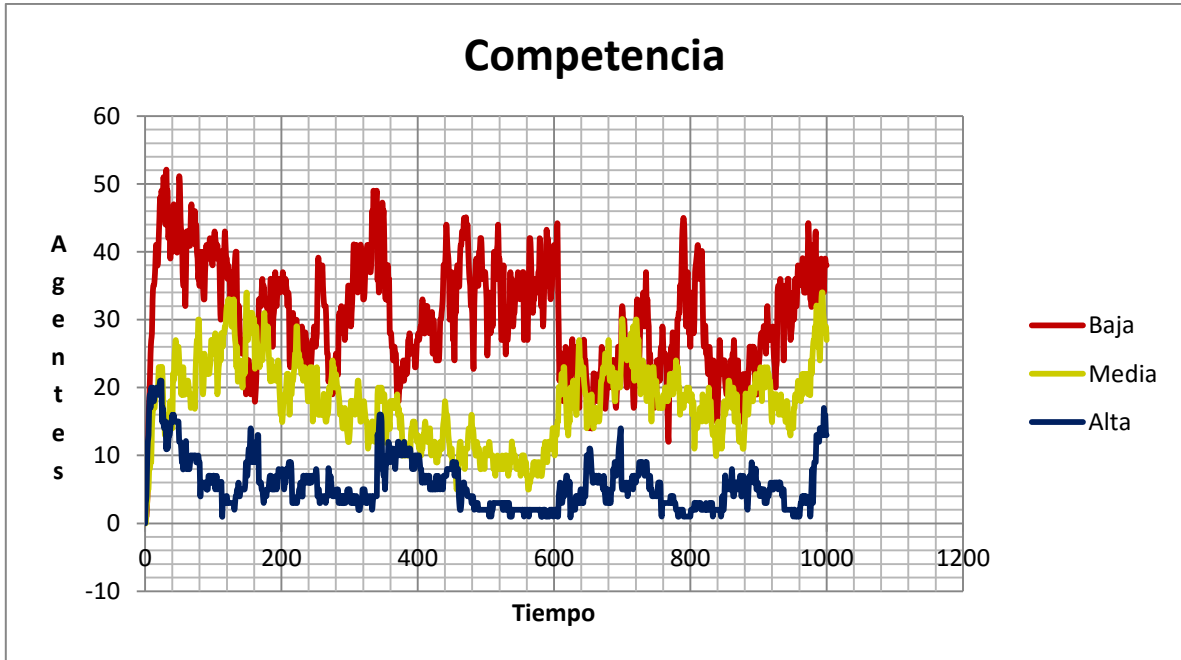


Figura 23. Agentes con actitud de competencia para el modelo de interacción entre agentes 1 en MOJANA

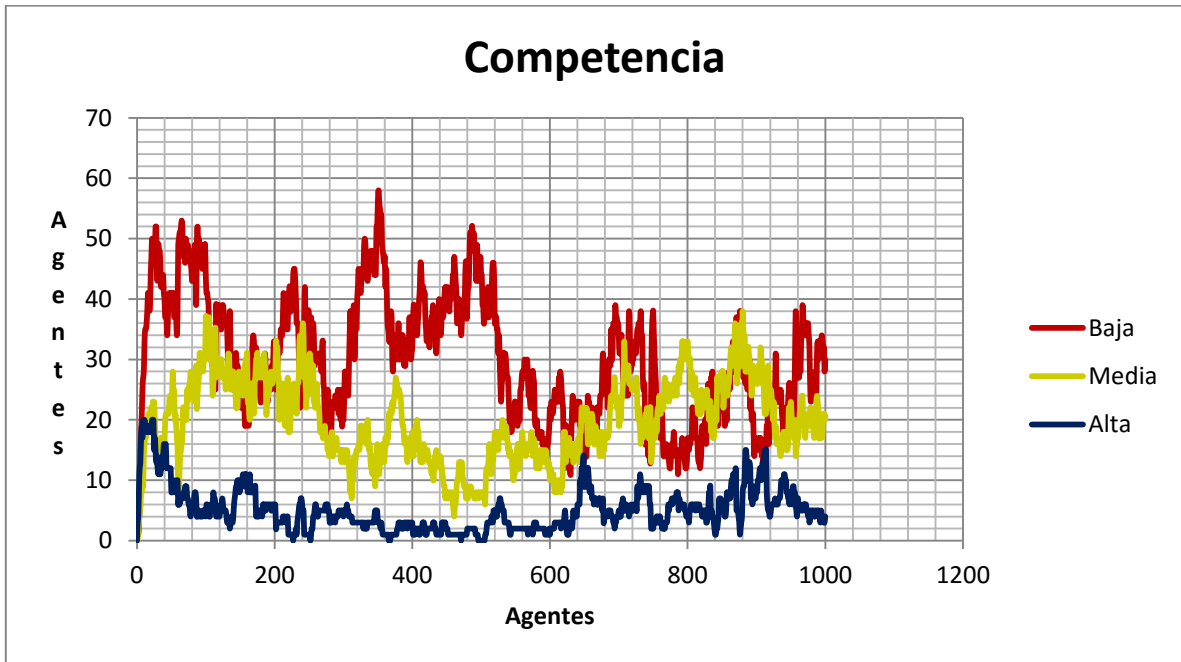


Figura 24. Agentes con actitud de competencia para el modelo de interacción entre agentes 2 en MOJANA

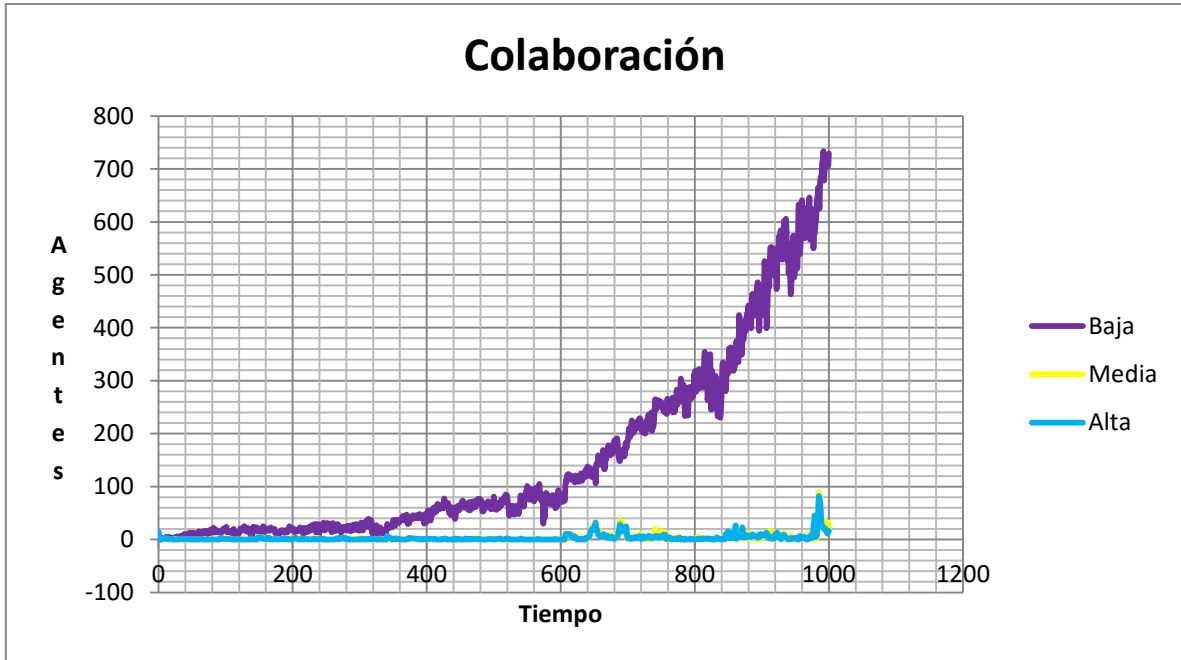


Figura 25. Agentes con actitud de colaboración para el modelo de interacción entre agentes 1 en MOJANA

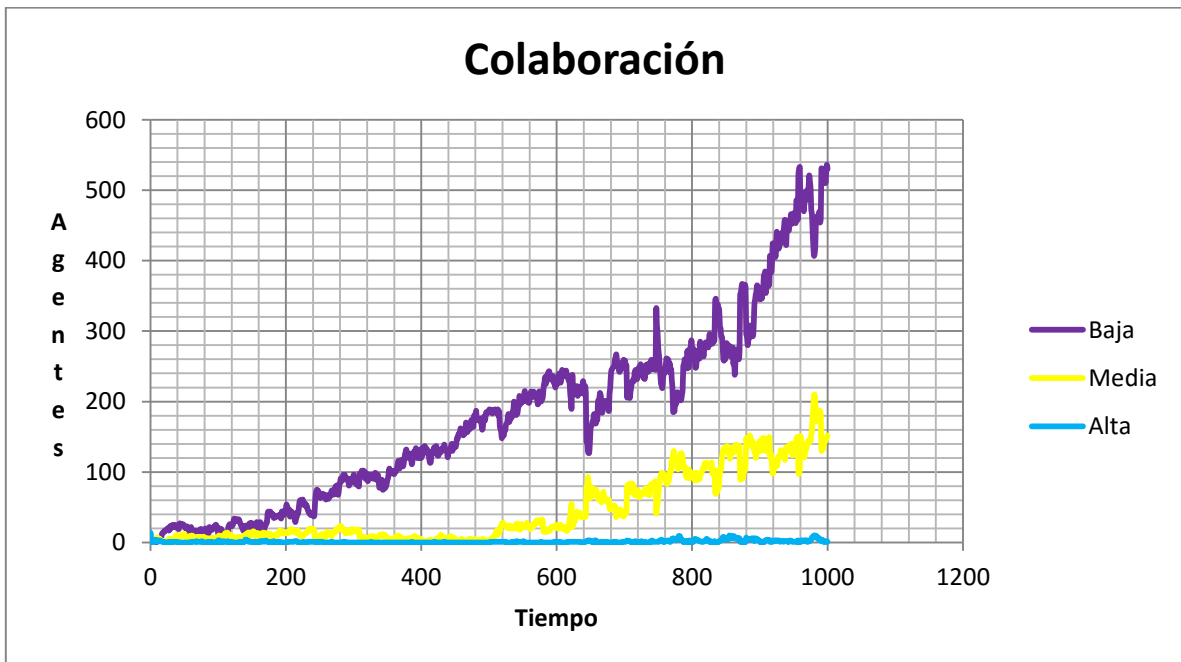


Figura 26. Agentes con actitud de colaboración para el modelo de interacción entre agentes 2 en MOJANA

En las Figura 23 y 24 se ve la competencia existente entra clases sociales del modelo, en el modelo de interacción social entre agentes 1 los individuos son más competitivos que en el modelo 2, ya que las reglas que se diseñaron hicieron que en el tiempo este fuera el comportamiento presentado en cada modelo.

Los agentes de clase alta que están en estado de competencia en el modelo 1 se acercan a los 20 mientras que el modelo 2 no pasan los 5, esto se debe a que en el modelo 2 los agentes tienen programada la acción de ayudar a los agentes de clases más bajas, mientras que los agentes de clase media disminuyeron en número de 30 a 20 con las reglas incluidas en el modelo 2 donde estos ayudaban a la clase baja y a sus semejantes, finalmente la clase baja presentó un comportamiento similar para ambos modelos.

Con respecto a las Figuras 25 y 26 se puede decir que el modelo de interacción 2 claramente presenta un número alto de colaboradores entre clases con respecto al modelo 1, ya que este modelo tenía como fin el de ser una sociedad en donde se pudiera dar la ayuda en cada capa social, dicho esto la clase baja ayudó a sus semejantes y fue ayudada por las demás clases, por otro lado la clase media fue la más colaboradora y la que ayudó a mantener el sistema económico presentado en el modelo.

En relación a la colaboración que presentó la clase media con sus semejantes y con los agentes de clase baja se puede observar que para el modelo de interacción 1 no se superaron los 10 agentes de clase media colaborando mientras que para el modelo 2 hubo un pico de 200 agentes colaborando y finalmente se llegó a 150 agentes colaborando, luego de los 1000 ticks de simulación.

Con el fin de tener una estadística promedio de los datos que arrojó cada simulación, estas se hicieron 33 veces por modelo, se hizo el promedio de los datos y se sacó un histograma a cada modelo por clase social. Dichos histogramas reflejan el valor de la frecuencia de cuantas veces se presentaron un número de agentes determinado en los 1000 ticks de simulación corridos.

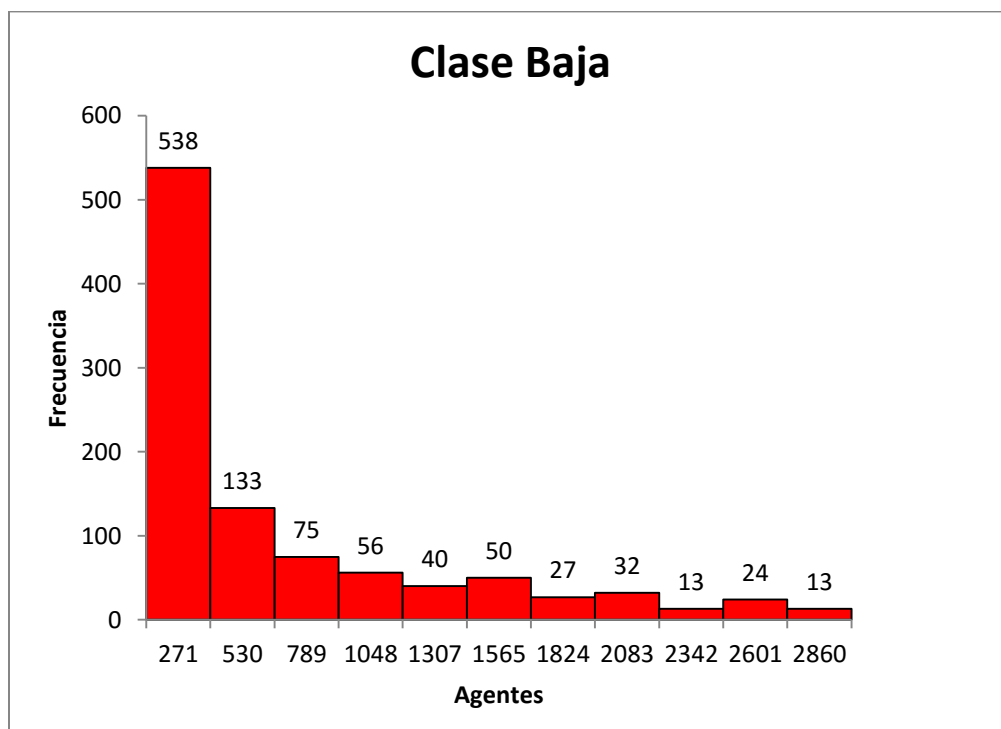


Figura 27. Histograma de Clase Baja para la arquitectura MOJANA sin modelos de interacción social entre agentes

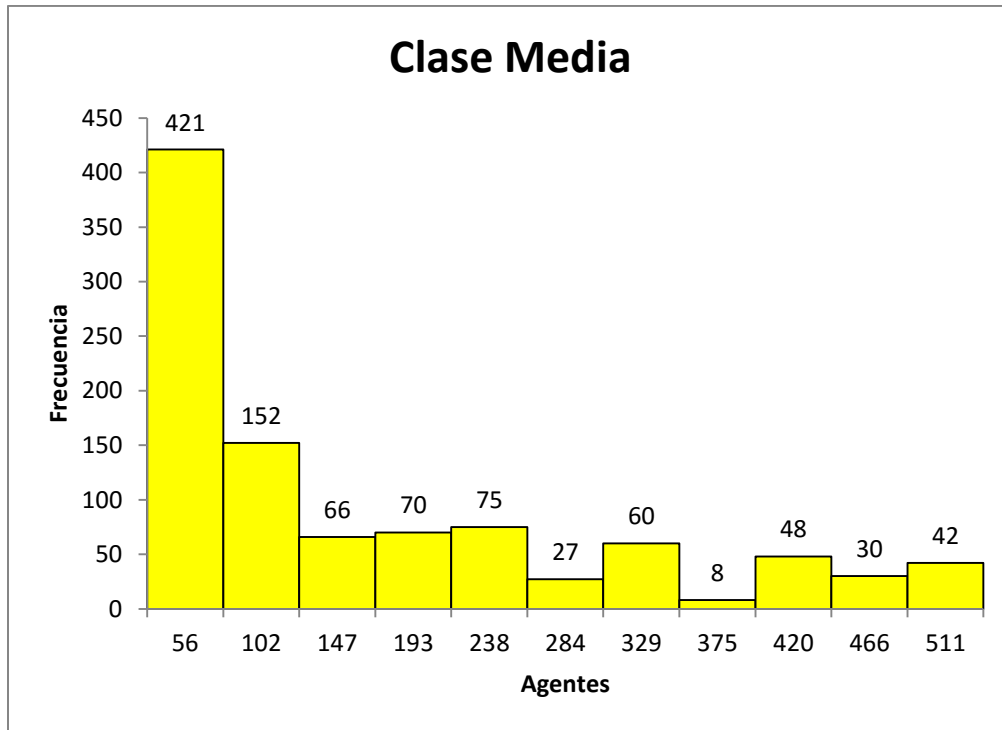


Figura 28. Histograma de Clase Media para la arquitectura MOJANA sin modelos de interacción social entre agentes

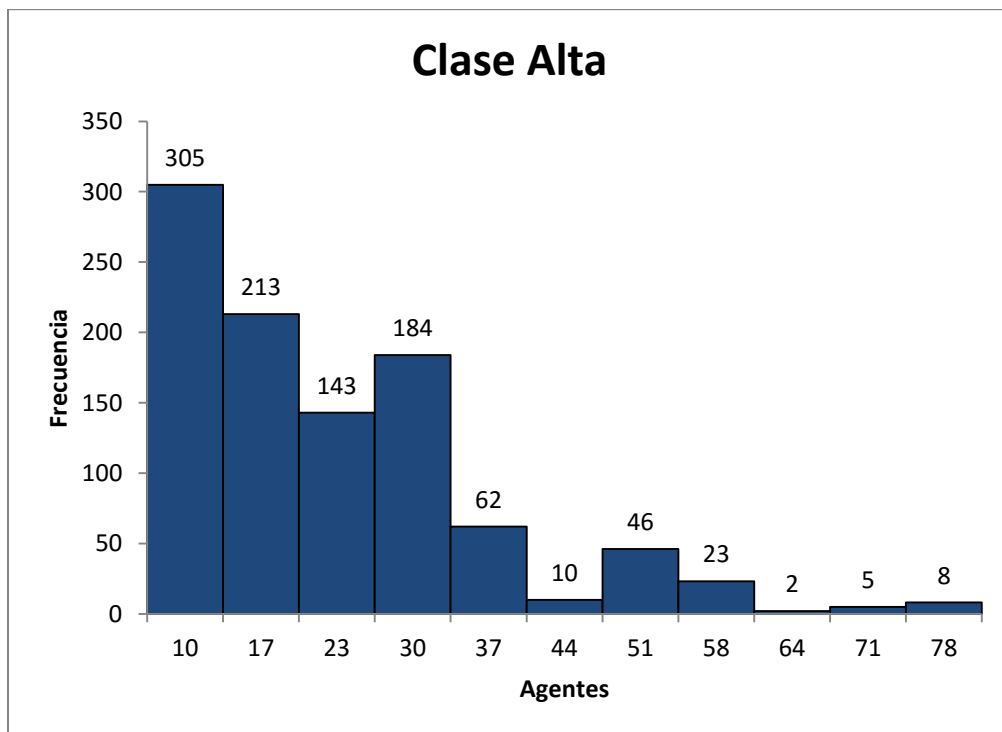


Figura 29. Histograma de Clase Alta para la arquitectura MOJANA sin modelos de interacción social entre agentes

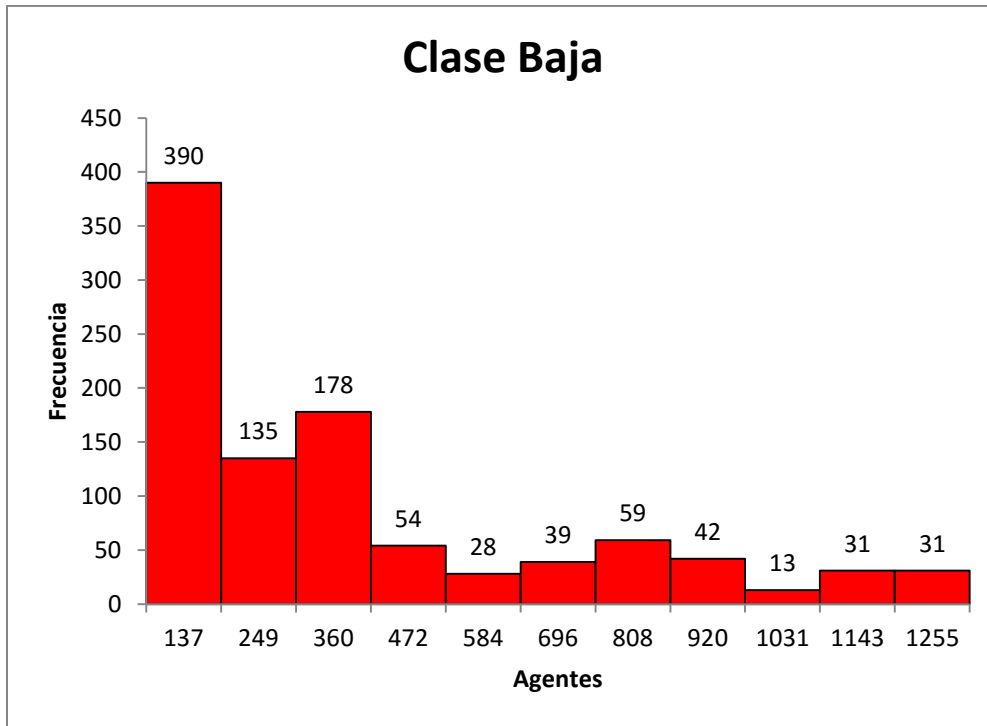


Figura 30. Histograma de Clase Baja para el primer modelo de interacción social entre agentes incluido en MOJANA

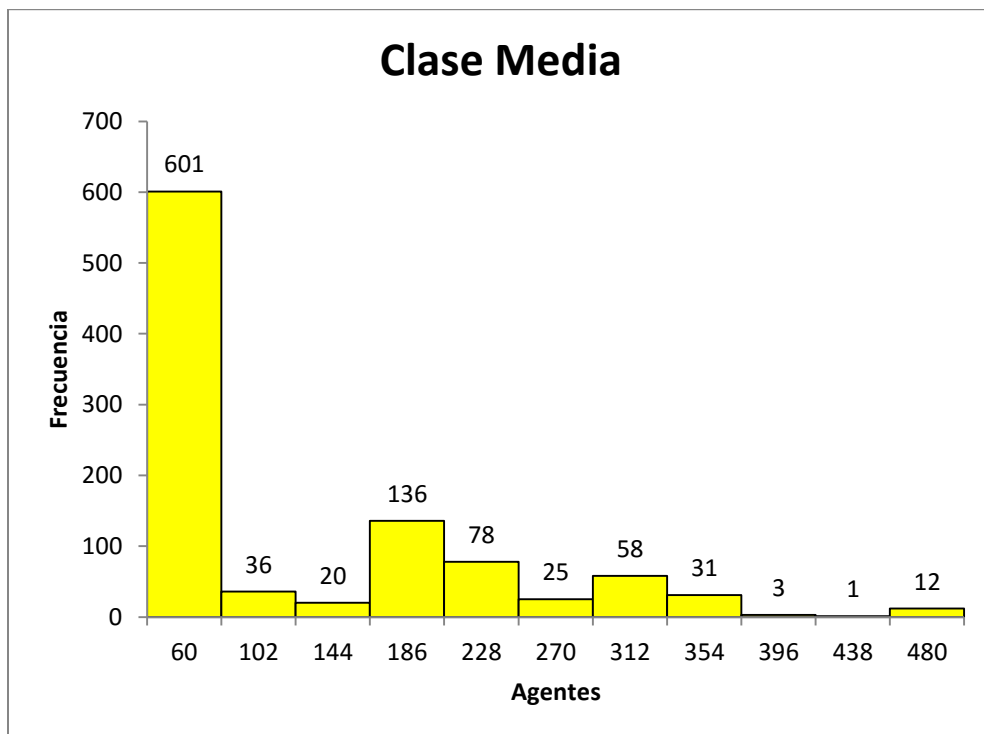


Figura 31. Histograma de Clase Media para el primer modelo de interacción social entre agentes incluido en MOJANA

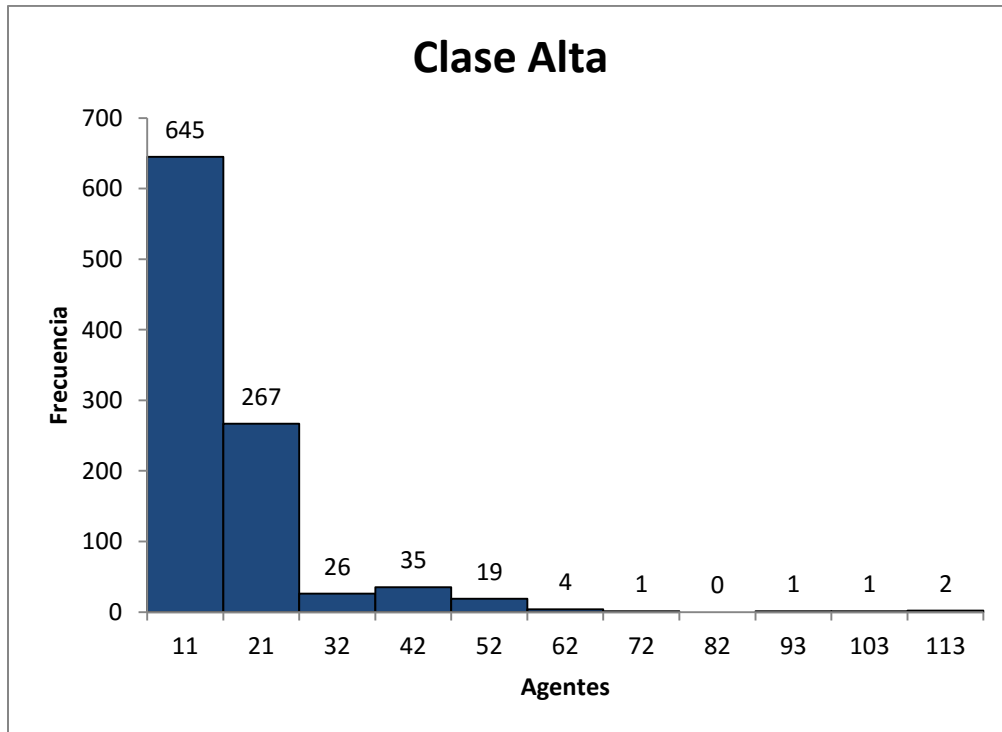


Figura 32. Histograma de Clase Alta para el primer modelo de interacción social entre agentes incluido en MOJANA

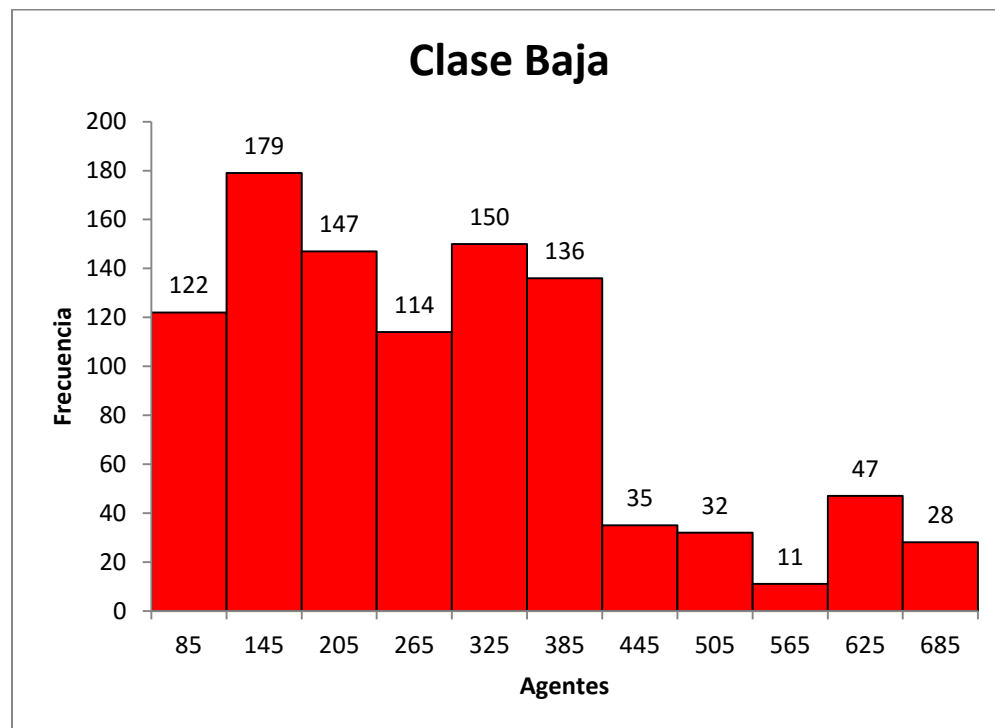


Figura 33. Histograma de Clase Baja para el segundo modelo de interacción social entre agentes incluido en MOJANA

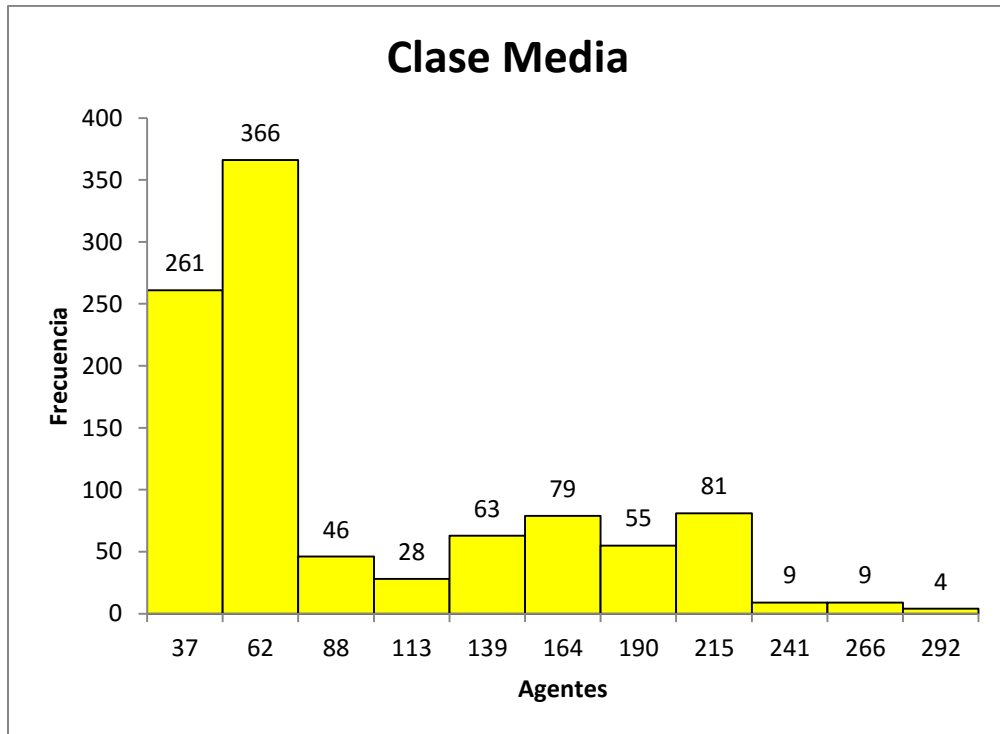


Figura 34. Histograma de Clase Media para el segundo modelo de interacción social entre agentes incluido en MOJANA

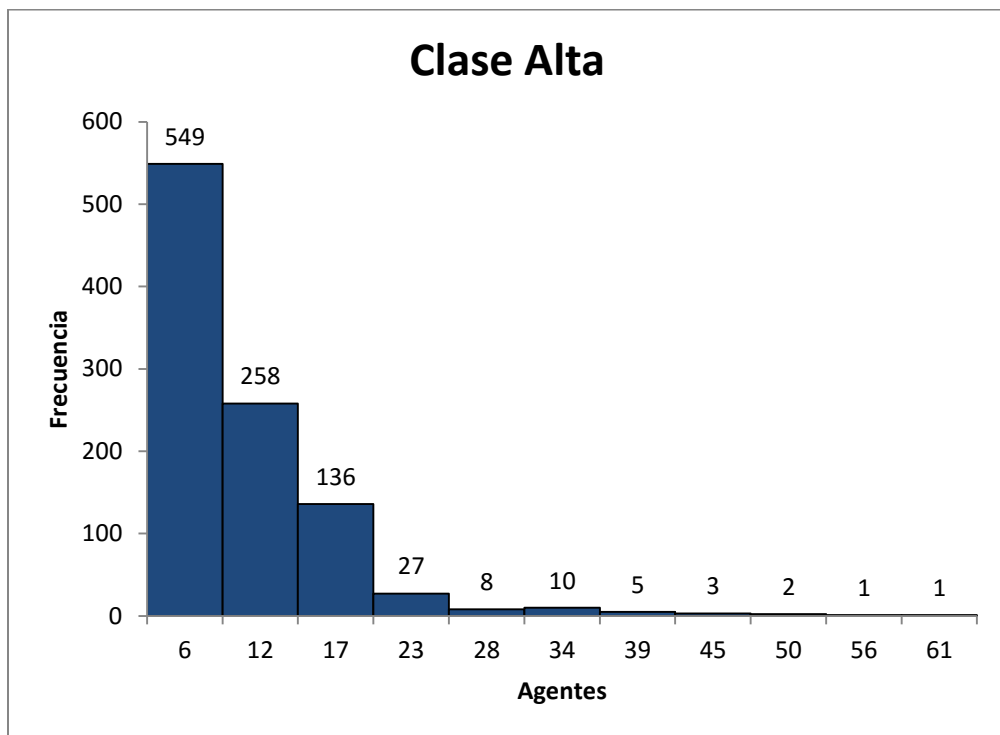


Figura 35. Histograma de Clase Alta para el segundo modelo de interacción social entre agentes incluido en MOJANA

Para la clase baja de los tres modelos si se compara la Figura 27, 30 y 33 respectivamente, se puede ver que el modelo que predomina en cuanto a la disminución de la pobreza en MOJANA es el modelo 1 de interacción social entre agentes, pues los agentes la mayor parte del tiempo de simulación que fueron 1000 ticks, se mantuvieron por debajo de los 137 agentes. En el segundo modelo se ve una distribución en frecuencia similar hasta los 385 agentes sin embargo no se presentan gran número de agentes de clase baja como en la arquitectura MOJANA original en la cual se ven frecuencias por encima de los 2800 agentes pobres.

En cuanto a la clase media de los tres modelos si se comparan las Figuras 28, 31 y 34 respectivamente, se puede ver que tanto el modelo de interacción social 1 como el 2 mantuvieron un promedio de 60 agentes a lo largo de la mitad de la simulación, lo que regula en cierta medida la desigualdad de MOJANA pues en el modelo original a pesar de mostrar más número de agentes de clase media, los agentes de clase baja sobre poblaban el territorio.

Por ultimo analizando la clase alta de los tres modelos si se comparan las Figuras 29, 32 y 35 respectivamente, se puede notar que en los dos modelos de interacción social entre agentes incluidos en MOJANA se mantuvo una uniformidad entre los agentes de clase alta, pues los agentes no cambiaban a esta clase tan fácilmente pues ellos estaban intentando generar igualdad entre la población y compartir sus ganancias con los agentes de clases más bajas, por lo que las frecuencias más altas en ambos modelos se ven por debajo de los 22 agentes.

Capítulo 8

Conclusiones y trabajo futuro

8.1. Conclusiones

Los modelos de interacción social entre agentes que se adicionan a un ambiente híbrido entre sistemas Multiagentes y autómatas celulares dan un acercamiento a situaciones que se presentan en la realidad y pueden abrir discusiones referentes a como sería si dichos modelos se implementarán en un ambiente real como la eco región de la Mojana.

Limitaciones tales como el uso de un software libre y su capacidad de procesamiento de datos, fueron superadas ya que el software de simulación NetLogo funcionó dentro de las capacidades que necesitaba el modelo, por lo cual no se tuvo ningún tipo de problema al momento de correr las simulaciones.

Como se espera de los modelos en donde está inmersa la inteligencia colectiva, en este caso los sistemas Multiagentes, las reglas y cambios que se hacen a nivel micro en el modelo reflejan cambios y dinámicas a nivel macro que son observables en el correr de la simulación.

El modelo al agregarle la interacción social entre agentes basada en reglas extraídas de distintos autores como Álvaro Ramis, Eddy Hogg, Marta Hamecker, Carol Harrington, Ayman Salen, Tamara Zurabishvili, Marcel Van der Linden entre otros, arrojó resultados positivos para la eco región, si el objetivo de esta es bajar los índices de pobreza, o aprovechar mejor los recursos del medio ambiente y suelo que posee.

8.2. Aportes originales

Como aportes originales de este trabajo de grado se pueden enmarcar las reglas que ayudaron a disminuir los índices de pobreza y a tener un mejor uso del suelo disponible en MOJANA, dichas reglas se pueden llegar a presentar ante entidades gubernamentales de la eco región, para ver si al implementarlas en la realidad con el pasar del tiempo se logra un mejoramiento en la calidad de vida de las personas y grupos sociales que habitan dicha región.

Adicionalmente el modelo presentado queda a disposición de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y de todos aquellos interesados en las áreas de la inteligencia computacional para hacer uso de él, y probar distintas dinámicas y comportamientos en las reglas que se puedan establecer.

Se le dio un nuevo enfoque al modelo desarrollada por el profesor y director de este trabajo Miguel Alberto Melgarejo, Paula Andrea Villegas y Edwin Robert Pérez [16], el cual hizo que surgieran nuevas dinámicas entre los agentes y el territorio que abrieron cuestionamientos y puertas en el ámbito investigativo.

8.3. Trabajo futuro

A partir del desarrollo de este proyecto se plantean los siguientes trabajos futuros relacionados con los modelos de interacción social entre agentes y el modelo organizacional jerárquico de agentes naturales del agua MOJANA:

Presentar un modelo formal a las entidades gubernamentales con las reglas desarrolladas en este documento para ver si se aprueba la implementación de dichas reglas en la eco región y así intentar mejorar el uso del suelo y la vida de sus habitantes.

Implementar el modelo con datos estadísticos más fieles a los de la realidad actual de la región, dichos datos se pueden obtener por medio de censos realizados a los habitantes de la Mojana.

Incluir en los modelos reglas desarrolladas por medio de redes neuronales que puedan evolucionar en el tiempo para visualizar que efectos se pueden obtener a nivel macro.

Implementar el modelo diseñado en una plataforma de simulación 3D para hacer más visual y atractiva la propuesta.

Anexos

A continuación se anexa el código del programa por partes que se realizó en la plataforma de simulación NetLogo, para el modelo 1.

Estructura del programa.

```
__includes["flood.nls" "people.nls" "territory.nls" "analysis.nls" ] ; Submodelos asociados a MOJANA.
```

```
globals [
```

```
  celdas-secas          ; Celdas secas -- sección flood
  celdas-tierra        ; Celdas de tierra --sección territory
  maxima-riqueza-celdas ; Máxima cantidad de riqueza en celdas --sección territory
  cantidad-agentes     ; Cantidad de personas --sección analysis
  umbral-establecimiento ; Umbral de establecimiento --sección people
  adaptaciones         ; Cantidad total de adaptaciones --sección analysis
]
```

```
breed [ agricolasmoviles agricolamovil ] ; Agrícolas móviles --sección people
breed [ agricolasestablecidos agricolaestablecido ] ; Agrícolas establecidos --sección people
breed [ anfibiosmoviles anfibiomovil ] ; Anfibios móviles -- sección people
breed [ anfibiosestablecidos anfibioestablecido ] ; Anfibios establecidos --sección people
```

```
patches-own
```

```
[
  elevacion ; Elevación del terreno --sección flood
  agua ; Cantidad de agua por celda --sección flood
  celdas-secas? ; Indicador de celda seca -- sección flood
  riqueza-celdas ; Cantidad de riqueza por celda --sección territory
  maxima-riqueza-celda ; Máxima cantidad de riqueza por celda --sección territory
  diferencia-clase
]
```

```
turtles-own
```

```
[
  edad ; Edad de la persona-- sección people
  riqueza ; La cantidad de grano que una persona tiene -- sección people
  expectativa-vida ; La máxima edad que una persona puede llegar a tener -- sección people
  metabolismo ; Cantidad de grano que una persona se puede comer --sección people
  tiempo-establecimiento-agente ; Tiempo de establecimiento de la persona --sección people
  tiempo-busqueda-persona ; Tiempo de búsqueda de la persona -- sección people
  altaadaptacion ; Adaptaciones clase alta
  mediaadaptacion ; Adaptaciones clase media
  bajaadaptacion ; Adaptaciones clase baja
  velocidad ; Velocidad
]
```

```
to setup ; Todos los métodos que inicializan la simulación
```

```

clear-all
random-seed 98761699          ; generar un territorio y una inundación únicos
setup_elevacion              ; Configura la elevación del territorio --sección flood
setup_riqueza                ; Configura la riqueza del territorio --sección territory
set umbral-establecimiento floor (max-attraction / 2) ; Fija el umbral de construcción
setup-turtles                ; Configura poblaciones --sección people
set cantidad-agentes count turtles          ; Contar tamaño de la población
ask celdas-tierra [ recolor ]              ; Iniciaiza colores del mundo --sección territory
reset-ticks
end

```

```

to go                          ; Todos los métodos que corren durante la simulación
inundacion                    ; Produce la inundación --sección flood
move-agricolasmoviles        ; Rutina de movimiento población agricola móvil -- sección people
move-anfibiosmoviles         ; Rutina de movimiento población anfibia móvil --sección people
action-agricolahouses        ; Rutina de asentamiento población agricola establecida --sección people
action-anfibiohouses         ; Rutina de asentamiento población anfibia establecida --sección people
eval-seekers                 ; Rutina de presión sobre la población móvil --sección people
muerte-agentes               ; Selección de individuos --sección people
clases-sociales              ; Visualización de clases sociales --sección people
regeneracion-grano           ; Regeneración del grano en el territorio --sección territory
clases-piso
colaboracion
set cantidad-agentes count turtles
tick
end

```

Sección analysis

;Rutina para contar las adaptaciones de los agentes

```

to count-adaptations
  set adaptaciones adaptaciones + 1 ; Incremento de número total de adaptaciones
  ifelse color = yellow [ set mediaadaptacion mediaadaptacion + 1 ] ; adaptaciones clase media
  [ifelse color = blue [ set altaadaptacion altaadaptacion + 1 ] ; Incremento adaptaciones clase alta
  [set bajaadaptacion bajaadaptacion + 1]] ; Incremento de las adaptaciones de la clase baja
End

```

Sección flood

; Modelo de la inundación

; Automata celular

```

to setup_elevacion
ask patches
[

```

```

set elevacion -100 * (distancexy 50 -50 / max-pxcor) + 100 + random 100 ; Elevación territorio
set agua 0 ; Fija territorio seco
set celdas-secas? false ; Fija la variable seco en falso
]

repeat 10 [ diffuse elevacion 0.5 ] ; Difumina la elevación en el territorio
ask patches with [count neighbors != 8] ; Modifica unidades territoriales bordes de la pantalla
[ set celdas-secas? true ; Estas unidades territoriales estarán secas
set elevacion -10000000 ] ; Fija la elevación más baja para las unidades secas
set celdas-secas patches with [celdas-secas?] ; Actualiza las unidades territoriales secas
set celdas-tierra patches with [not celdas-secas?] ; Actualiza las unidades territoriales inundadas
end

to inundacion ; Calcula la inundación
let ta 2000 * floor (ticks / 2000) ; Repite la inundación cada 2000 ticks
let tb ta + 200
if ticks > ta and ticks < tb
[
ask celdas-tierra with [pycor > -50 and pycor < -40 and pxcor > 40 and pxcor < 50] ; inundación
[
if random-float 1.0 < rainfall [ ; Fija la cantidad de agua generada durante la inundación
set agua agua + 1.0
]
]
]
ask celdas-tierra [ if agua > 0 [ flow ] ] ; Produce el flujo de la inundación
ask celdas-secas [
set agua 0
set elevacion -10000000
]
end

to flow ; Calcula la forma como el agua fluye a través de las unidades territoriales
let target min-one-of neighbors [elevacion + agua]
let amount min list agua (0.3 * (elevacion + agua - [elevacion] of target - [agua] of target))
if amount > 0 [
set agua agua - 0.9 * amount
ask target [ set agua agua + 0.9 * amount ]
]
End

```

Sección people

; Acciones de los agentes

to setup-turtles

```
create-agricolasmoviles agricolas-iniciales ; Inicializa el número de agentes agrícolas buscadores
[
  set shape "farmer" ; Asigna la forma de visualización del agente
  set size 2.0 ; Asigna el tamaño de visualización del agente
  set tiempo-busqueda-persona contador-paciencia-agricola ; contador de paciencia del agente
  set edad random expectativa-vida ; Asignar la edad de la persona
  setxy random-xcor random-ycor ; Ubica los agentes de manera aleatoria
  set expectativa-vida random max-expectativa-vida + 1 ; Fija la esperanza de vida del agente
  set riqueza random riqueza-inicial ; Asigna el valor de la cantidad de grano que una persona tiene
  set metabolismo random metabolism-max-agr
]
```

```
create-anfibiosmoviles anfibios-iniciales ; Inicializa el número de agentes anfibios buscadores
[
  set shape "person"
  set size 2.0 ;; easier to see
  set tiempo-busqueda-persona contador-paciencia-anfibio
  set edad random expectativa-vida
  setxy random-xcor random-ycor
  set expectativa-vida random max-expectativa-vida + 1
  set riqueza random riqueza-inicial
  set metabolismo random metabolism-max-anf
]
```

end

```
to-report want-to-build? ; Se crea el reporte de asentamiento en tierra
  report ((random riqueza-celdas >= umbral-establecimiento or tiempo-busqueda-persona = 0) and
  agua = 0)
end
```

```
to-report want-to-navigate? ; Se crea el reporte de asentamiento en agua
  report ((random riqueza-celdas >= umbral-establecimiento or tiempo-busqueda-persona = 0) and
  agua > 0)
end
```


to turn-towards-grain-agr ; Girar hacia la atracción en la población agrícola

```
let ahead [riqueza-celdas] of patch-ahead 1 ; Crea la variable local ahead con el valor de grain-  
here del patch del frente a la distancia 1
```

```
let myright [riqueza-celdas] of patch-right-and-ahead angulo-bus-agr 1 ; Crea la variable local  
myright con el valor de grain-here del patch del frente a la derecha en el ángulo del deslizador  
seeker-search-angle y la distancia 1
```

```
let myleft [riqueza-celdas] of patch-left-and-ahead angulo-bus-agr 1 ; Crea la variable local  
myleft con el valor de grain-here del patch del frente a la izquierda en el ángulo del deslizador  
seeker-search-angle y la distancia 1
```

```
ifelse ((myright > ahead) and (myright > myleft))
```

```
[  
  rt random angulo-bus-agr  
]
```

```
[  
  if (myleft > ahead)  
  [lt random angulo-bus-agr]  
]
```

end

to turn-towards-grain-anf ; Girar hacia la atracción en la población
anfibia

```
let ahead [riqueza-celdas] of patch-ahead 1  
let myright [riqueza-celdas] of patch-right-and-ahead angulo-bus-anf 1  
let myleft [riqueza-celdas] of patch-left-and-ahead angulo-bus-anf 1  
ifelse ((myright > ahead) and (myright > myleft))
```

```
[  
  rt random angulo-bus-anf  
]
```

```
[  
  if (myleft > ahead)  
  [lt random angulo-bus-anf]  
]
```

end

to move-agricolasmoviles

```

ask agricolasmoviles ; Rutina de movimiento de los agrícolas
buscadores
[
  ifelse (want-to-build?) and patch-here != nobody ; Si cumple con la rutina to-report want-
to-build? y el patch está libre
  [
    set breed agricolasestablecidos ; Se configura como agrícola asentado
    set shape "house" ; Toma la forma de casa
    set tiempo-establecimiento-agente tiempo-espera-agr-asen ; Fija el tiempo de espera cuando el
agente esta asentado
    count-adaptations ; Contador de adaptaciones --sección de analysis
  ]
  [
    if (tiempo-busqueda-persona) > 0 ; Si patience-counter es mayor que 0
    [
      turn-towards-grain-agr ; Entonces el agente gira hacía el grano
      set velocidad 0.01 * random riqueza ; Fija la velocidad del agente en función de
su riqueza
      fd velocidad
      set tiempo-busqueda-persona tiempo-busqueda-persona - 1 ; Decrementa el contador de
paciencia
      set riqueza-celdas riqueza-celdas + 1
      set riqueza riqueza - 1
    ]
  ]
  ifelse random 100 < 95 ; Toma la decisión de envejecer en esta unidad
territorial o adaptarse
  [
    set riqueza riqueza - 0.1 * metabolismo
    set edad edad + 0.001
  ]
  [
    set breed anfibiosmoviles
    set tiempo-busqueda-persona contador-paciencia-anfibio
    set shape "person"
    set size 2
    set riqueza (riqueza / 2)
    count-adaptations ; contador de adaptaciones -- sección de analysis
  ]
]
end

```

to move-anfibiosmoviles

```
ask anfibiosmoviles ; Rutina de movimiento de los anfibios buscadores
[
  ifelse (want-to-navigate?) and patch-here != nobody
  [
    set breed anfibiosestablecidos
    set shape "boat"
    set size 3
    set tiempo-establecimiento-agente tiempo-espera-anf-asen
    count-adaptations
  ]
  [
    if (tiempo-busqueda-persona) > 0
    [
      turn-towards-grain-anf
      set velocidad 0.01 * random riqueza
      fd velocidad
      set tiempo-busqueda-persona tiempo-busqueda-persona - 1
      set riqueza-celdas riqueza-celdas + 1
      set riqueza riqueza - 1
    ]
  ]
]

ifelse random 100 < 95
[
  set riqueza riqueza - 0.1 * metabolismo
  set edad edad + 0.001
]
[
  set breed agricolasmoviles
  set tiempo-busqueda-persona contador-paciencia-agricola
  set shape "farmer"
  set size 2
  set riqueza (riqueza / 2)
  count-adaptations
]
]

end
```

to action-agricolahouses

```
ask agricolasestablecidos ; Rutina de asentamiento para los agrícolas
[
  ifelse riqueza-celdas <= (max-attraction * 2) ; Si la cantidad de grano es menor a la
cantidad de grano ideal
  [
    set riqueza-celdas riqueza-celdas + 1 ; Incremente el grano
    set riqueza riqueza - 0.1 * metabolismo
  ] ; Invierta alguna porción de su riqueza
  [
    set riqueza floor (riqueza + (riqueza-celdas)) ; Explote la unidad territorial al máximo
    set riqueza-celdas 0
  ]

  set tiempo-establecimiento-agente tiempo-establecimiento-agente - 1 ; Disminuya el
tiempo de establecimiento

  if (tiempo-establecimiento-agente) <= 0 ; Si el tiempo de establecimiento
se agota entonces vuelvase buscador
  [
    set breed agricolasmoviles
    set tiempo-busqueda-persona contador-paciencia-agricola
    set shape "farmer"
    count-adaptations
  ]

  set edad (edad + 0.001) ; El agente envejece y se reproduce
  reproduce-agricolas
]

end
```

to action-anfibiohouses

```
ask anfibiosestablecidos ; Rutina de asentamiento para los anfibios
[
  ifelse riqueza-celdas <= (max-attraction * 2)
  [
    set riqueza-celdas riqueza-celdas + 1
    set riqueza riqueza - 0.1 * metabolismo
  ]
  [

```

```

    set riqueza floor (riqueza + (riqueza-celdas))
    set riqueza-celdas 0
  ]

set tiempo-establecimiento-agente tiempo-establecimiento-agente - 1

if (tiempo-establecimiento-agente) <= 0
[
  set breed anfibiosmoviles
  set tiempo-busqueda-persona contador-paciencia-anfibio
  set shape "person"
  set size 2
  count-adaptations
]

set edad (edad + 0.001)
reproduce-anfibios
]

end

to reproduce-agricolas ; Rutina de reproducción de los agrícolas

if random 1000 < tasa-reprod-agric
[
  set riqueza (riqueza / 2)
  hatch 1
]

end

to reproduce-anfibios ; Rutina de reproducción de los anfibios

if random 1000 < tasa-reprod-anfib
[
  set riqueza (riqueza / 2)
  hatch 1
]

end

```

to eval-seekers

```
ask agricolasmoviles ; Rutina de presión para los agentes en movimiento
[
  ifelse agua > 0
  [set riqueza riqueza - metabolismo]
  [set riqueza riqueza - 0.1 * metabolismo]
]
```

```
ask anfibiosmoviles ; Rutina de presión para los anfibios en movimiento
[
  ifelse agua = 0
  [set riqueza riqueza - 0.1 * metabolismo]
  [set riqueza riqueza - metabolismo]
]
```

end

to muerte-agentes ; Proceso de muerte de los agentes

```
ask turtles
[
  if riqueza <= 0 or edad > expectativa-vida
  [die]
]
```

end

to clases-sociales ; Proceso de asignación de clases sociales

```
ifelse count turtles = 0
[stop]
[
  let max-wealth max [riqueza] of turtles ; Crear una variable local denominada max-wealth
  que corresponde a la máxima riqueza
  ask turtles
  [
    ifelse (riqueza <= max-wealth / 3) ; Si la persona tiene menos de un tercio la riqueza de la
    persona más rica, el color es rojo. Clase baja
    [set color red]
  ]
]
```

```

    ifelse (riqueza <= (max-wealth * 2 / 3)) ; Si la persona tiene menos de dos tercios de la
riqueza de la persona mas rica, el color es amarillo. Clase media
    [set color yellow]
    [set color blue] ; Si la persona tiene mas de dos tercios de la riqueza de la
persona mas rica, el color es azul. Clase alta
    ]
    ]
    ]
end

```

to colaboracion

```

ask agricolasestablecidos
[
  ifelse (color = blue)
  [
    ifelse not any? turtles-on neighbors
    [
      set color 102
      set label floor riqueza
    ]
    [
      if any? turtles-on neighbors with [diferencia-clase = 5]
      [
        set color 85
        set label floor riqueza
        set riqueza riqueza - riqueza / 32
        ;create-links-with turtles-on neighbors
        ask link-neighbors [ set riqueza riqueza + riqueza / 4 ]
      ]
    ]
  ]
  [
    ifelse (color = yellow)
    [
      ifelse not any? turtles-on neighbors
      [
        set color 43
        set label floor riqueza
      ]
      [
        if any? turtles-on neighbors with [diferencia-clase = 15]
        [

```



```

    set riqueza riqueza - riqueza / 32
  ]
]
[
ifelse (color = yellow)
[
  ifelse not any? turtles-on neighbors
  [
    set color 43
    set label floor riqueza
    set label-color black
  ]
  [
    if any? turtles-on neighbors with [diferencia-clase = 15]
    [
      set color white
      set label floor riqueza
      set label-color black
      set riqueza riqueza - riqueza / 64
    ]
  ]
]
[
  ifelse not any? turtles-on neighbors
  [
    set color 13
    set label floor riqueza
    set label-color black
  ]
  [
    if any? turtles-on neighbors with [diferencia-clase = 10]
    [
      set color 125
      set label floor riqueza
      set label-color black
      set riqueza riqueza - riqueza / 128
    ]
  ]
]
]
end

```

Sección territory

; Modelo del territorio

to setup_riqueza

; Darle a algunas unidades de territorio la mayor cantidad de grano posible

; estas unidades de territorio son la mejor tierra

set maxima-riqueza-celdas 50

ask patches

[set maxima-riqueza-celda 0 ; Establecer un valor inicial de la cantidad maxima de grano que la unidad de territorio puede contener en 0

if (random-float 100.0) <= porcentaje-mejor-tierra ; Si un número aleatorio de 0 a 100 es menor o igual que el porcentaje de la mejor tierra (modificable en barra de interfaz grafica)

[set maxima-riqueza-celda maxima-riqueza-celdas
set riqueza-celdas maxima-riqueza-celda]]

; Difundir ese grano alrededor de la ventana y colocar un poco de nuevo

; en las unidades de territorio que son la mejor tierra

repeat 5 ; Repetir el comando cinco veces

[ask patches with [maxima-riqueza-celda != 0] ; Pida que unidades de territorio con maxima-riqueza-celda diferente de 0

[set riqueza-celdas maxima-riqueza-celda] ; Coloque que el grano de la unidad del territorio es el máximo grano que puede tener la unidad del territorio

diffuse riqueza-celdas 0.25] ; Difunda en las ocho unidades del territorio vecinas el 0.25 por ciento del valor de la unidad del territorio en partes iguales

;

repeat 10 ; Repetir el comando diez veces

[diffuse riqueza-celdas 0.25] ; Difundir el grano en torno a algunos mas

ask patches

[set riqueza-celdas floor riqueza-celdas ; Pase los niveles de grano a numeros enteros

set maxima-riqueza-celda riqueza-celdas ; El nivel inicial del grano es el máximo

]

end

to crecimiento-grano ; Procedimiento de la unidad territorial

; Si la unidad territorial no tiene la máxima cantidad de grano, se adiciona un número de grano en crecimiento

if (riqueza-celdas < maxima-riqueza-celda) ; Si la cantidad de grano de la unidad territorial es menor que la máxima cantidad de grando que puede tener la unidad territorial

[set riqueza-celdas riqueza-celdas + num-grano-crecimiento ; Asigne al grano de la unidad el grano que tiene, mas el número de grano en crecimiento que es un deslizador donde se puede colocar el nuevo grano

; Si la nueva cantidad de grado sobre una unidad territorial esta encima de su capacidad máxima, ajustela a su máxima

```
    if (riqueza-celdas > maxima-riqueza-celda)
      [ set riqueza-celdas maxima-riqueza-celda ]
    ]
end
```

; Vuelva y coloque la escala de colores

```
to regeneracion-grano
if ticks mod grain-growth-interval = 0
  [ ask celdas-tierra [ crecimiento-grano ] ] ;; territory
  ask celdas-tierra [ recolor ]
end
```

to recolor ; Volver a dibujar el ambiente

```
ifelse mostrar-mapa = "Elevation" [
  ifelse (agua = 0 or not mostrar-agua?)
    [ set pcolor scale-color green elevacion -250 100 ]
    [ set pcolor scale-color blue (min list agua 75) 100 -10]]
[ ifelse (agua = 0 or not mostrar-agua?)
  [ set pcolor scale-color green riqueza-celdas 0 maxima-riqueza-celdas ]
  [ set pcolor scale-color blue (min list agua 75) 100 -10]]
end
```

to clases-piso

let max-wealth max [riqueza] of turtles ; Crear una variable local denominada max-wealth que corresponde a la maxima riqueza

```
ask turtles
[
  ifelse (riqueza <= max-wealth / 3) ; Si la persona tiene menos de un tercio la riqueza de la
  persona mas rica, el color es rojo. Clase baja
    [set diferencia-clase 5]
  [
    ifelse (riqueza <= (max-wealth * 2 / 3)) ; Si la persona tiene menos de dos tercios de la
    riqueza de la persona mas rica, el color es amarillo. Clase media
      [set diferencia-clase 10]
      [set diferencia-clase 15] ; Si la persona tiene mas de dos tercios de la riqueza
      de la persona mas rica, el color es azul. Clase alta
    ]
  ]
]
```

End

Visualización del panel de control de MOJANA



Figura 36. Panel de control de MOJANA

Visualización de MOJANA antes y después de 1000 ticks de simulación

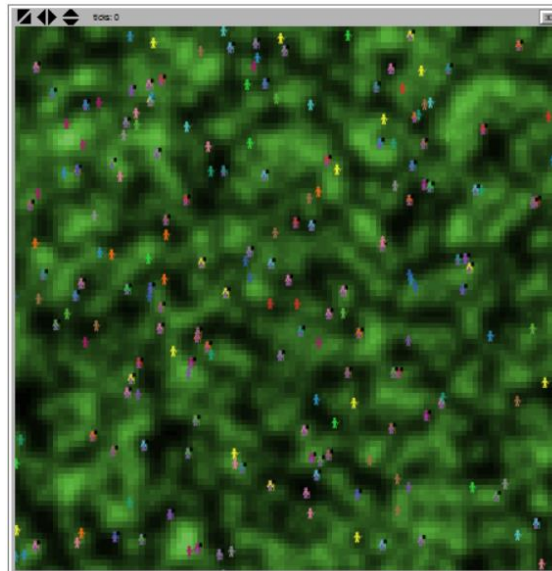


Figura 37. MOJANA previo a una simulación

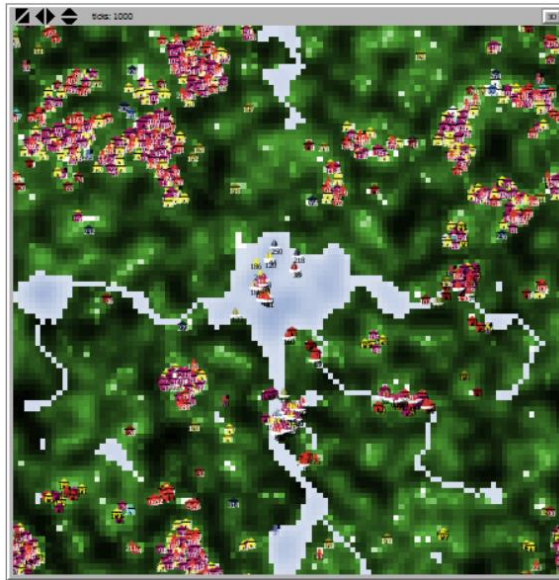


Figura 38. MOJANA luego de 1000 ticks de simulación

Bibliografía

- [1] M. Charles, J. Michael, "Tutorial on agent-based modeling and simulation part 2: how to model with agents," Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, pp. 73-83, 2006.
- [2] C. Yu, R. Nagpal, "Biologically-Inspired Control for Multi-Agent Self-Adaptive Tasks," School of Engineering and Applied Sciences Wyss Institute for Biologically-Inspired Engineering Harvard University 2010.
- [3] R. Olfati-Saber, "Flocking for Multi-Agent Dynamic Systems: Algorithms and Theory," IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATIC CONTROL, VOL. 51, NO. 3, MARCH 2006
- [4] A. KHOUKHI, "An Intelligent Multi-Agent System for Mobile Robots Navigation and Parking," Robotic and Sensors Environments (ROSE), 2010.
- [5] M. Ahmed, "A collaborative navigation algorithm for multi agent robots in autonomous reconnaissance mission," international conference on computer and communication engineering (ICCCE 2010), 11-13 May 2010.
- [6] T. ÖZDEN, H. İbrahim, "Designing A Load Agent For Power Management With A Multi-Agent Home Automation System," Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), 2012.
- [7] W. Chen, W. Tseng, "A Novel Multi-agent Framework for the Design of Home Automation," International Conference on Information Technology (ITNG'07) IEEE 2007.
- [8] G. Conte, D. Scaradozzi, R. Donnini, A. Pedale, "Building Simulation/Emulation Environments for Home Automation Systems," 19th Mediterranean Conference on Control and Automation Aquis Corfu Holiday Palace, Corfu, Greece June 20-23, 2011.
- [9] S. Wolfram, "Cellular Automata as Simple Self-Organizing Systems," Caltech Preprint CALT-68-938, 1982.
- [10] Ö. Yeldan, A. Colomi, A. Lué, E. Rodaro, "A stochastic continuous cellular automata traffic flow model with a multi-agent fuzzy system," Procedia - Social and Behavioral Sciences 54, pp. 1350 – 1359, 2012.
- [11] P. Tissera, A. Castro, A. Printista, E. Luque, "Evacuation simulation supporting high level behaviour-based agents," Procedia Computer Science 18, pp. 1495 – 1504, 2013.
- [12] Y. Chen, J. Wang, "Agent-Based Simulation Of Agricultural Prices Volatility Using Cellular Automata," 0-7695-2882-1/07 IEEE, 2007
- [13] M. Escobar, J. Gómez, "A growth model of human papillomavirus type 16 designed from cellular automata and agent-based models," Artificial Intelligence in Medicine 57, pp. 31–47, 2013
- [14] L. Perez, S. Dragicevic, "Landscape-level simulation of forest insect disturbance: Coupling swarm intelligent agents with GIS-based cellular automata model," Ecological Modelling 231, pp. 53– 64, 2012
- [15] NetLogo, "User Manual," Diciembre 2013 [Online], Available: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/5.0/docs/>

- [16] M. Melgarejo, P. Villegas, E. Pérez, “MOJANA, Modelo de simulación hídrica y organizacional en la Eco-Región de la Mojana,” XXI seminario nacional de hidráulica e hidrología Villa de Leyva, Boyacá, 25 al 27 de septiembre, 2014.
- [17] E. Lakshika, M. Barlow, A. Easton, “Co-evolving Semi-competitive Interactions of Sheepdog Herding Behaviors Utilizing a Simple Rule-based Multi Agent Framework,” *Artificial Life (ALIFE)*, 2013
- [18] A. Rawal, P. Rajagopalan, R. Miikkulainen, “Constructing Competitive and Cooperative Agent Behavior Using Coevolution,” *Computational Intelligence and Games (CIG)*, 2010
- [19] X. Hongtao, S. Lincheng, Z. Huayong, Z. Daibing, X. Xiaojia, “Multi-Agent Coevolutionary Learning Method Based on Individual Rule Set,” *Intelligent System Design and Engineering Applications (ISDEA)*, 2013
- [20] J. Leng, C. Lim, “Reinforcement learning of competitive and cooperative skills in soccer agents,” *Applied Soft Computing*, Enero de 2011
- [21] Y. Hu, J. Houdet, T. Duong, “A multi-agent model of cooperative and competitive strategies in supply chain,” *Automation and Logistics*, 2008. *ICAL 2008*.
- [22] Y. Bar-Yam, *Dynamics of Complex Systems*, Massachusetts: Addison Wesley Longman, 1997.
- [23] J. Fromm, *The emergence of complexity*, Addison-Wesley, 2004.
- [24] J. Lu, G. Chen, and X. Yu, "Modelling, analysis and control of multi-agent systems: A brief overview," 2011 IEEE International Symposium of Circuits and Systems (ISCAS), pp. 2103-2106, 2011.
- [25] A. Benavente, “Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares,” *revista internacional de ciencia y tecnología de la información geográfica*, 2006.
- [26] C. Hand, “Simple Cellular Automata on a Spreadsheet.” [Online]. Available: <http://www.economicsnetwork.ac.uk/cheer/ch17/hand.htm>. [Accessed: 20-Jun-2012].
- [27] E. Sapin, “Evolutionary heuristics for automatic discoveries of cellular automata simulating AND gates,” in *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 2010, pp. 1-8.
- [28] S. R. Phinn, “Developing a Cellular Automaton Model of Urban Growth Incorporating Fuzzy Set Approaches,” *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 27, no. 6, pp. 637-658, 2003.
- [29] M. Sipper. *The evolution of parallel cellular machine: The cellular programming approach*. Springer-Verlag, Berlin, Alemania. 1997.
- [30] B. Marius-Tudor, T. Teodor, T. Mihai, “Norm emergence in Multi-Agent systems based on social interactions,” *CSMR*, Vol. 1, No 1, 2011.
- [31] F. Lopez, Lopez y A. Marquez, “An architecture for autonomous normative agents,” quinta conferencia internacional Mexicana en ciencias de la computación (ENC'04), Los Alamitos, CA, USA, IEEE Computer Society (2004) 96-103, 2004.
- [32] G. Boella y L. van der Torre, “An architecture of a normative system: counts-as conditionals, obligations and permissions,” 2006, *AAMAS*, New York, NY, USA, ACM Press (2006) 229-231.

- [33] B. Savarimuthu y S. Cranefield, "A categorization of simulation works on norms," 2009, Dagstuhl Seminar Proceedings 09121: Normative Multi-Agent Systems, 15-20 March, Leibniz, Germany, pp. 39-58.
- [34] J. Aguilar, G. Theraulaz, O. Teran, "Modelado Multiagente para sistemas emergentes y auto-organizados," tesis doctoral presentada en Cotutela ante la Universidad de los Andes y la Universidad Paul Sabatier, Julio 2011.
- [35] P. Valckenaers, M. Kollingbaum, H. Van Brussel, O. Bochmann, C. Zamfirescu, "The Design of Multi-Agent Coordination and Control Systems using Stigmergy," *Proceedings of the IWES'01 International Workshop on Emergent Synthesis*, pp.1-9, Slovenia, 2001.
- [36] K. Hadeli, P. Valckenaers, C. Zamfirescu, H. Van Brussel, B. Germaín, T. Hoelvoet, E. Steegmans, "Self-Organising in Multi-Agent Coordination and Control using Stigmergy," *Lecture Notes in Computer Science*, vol.2977, pp. 105-123, Germany, 2004.
- [37] E. Izquierdo, "Collective Intelligence in Multi-Agent Robotics: Stigmergy, Self-Organization and Evolution," Reporte Técnico, *University of Sussex*, Inglaterra, 2004.
- [38] V. Cicirello, S. Smith, "Insect societies and manufacturing," *Proceedings of International Joint Conferences on Artificial Intelligence (IJCAI-01)*, pp.328-336, USA, 2001.
- [39] R. Vaughan, K. Stoy, S. Sukhatme, M. Mataric, "Blazing a trail: insect-inspired resource transportation by a robot team," *Proceedings 5th International Symposium Distributed Robotic Systems*, pp.111-120, USA, 2000.
- [40] E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulaz, "Swarm Intelligence: from Natural to Artificial Systems," Oxford University Press, (1999).
- [41] S. Garnier, J. Gautrais, G. Theraulaz, "The biological principles of Swarm Intelligence," *Swarm Intelligence*, vol. 1, no. 1, pp. 3-31, 2007.
- [42] S. Garnier, "Décisions Collectives dans des Systèmes d'Intelligence en Essaim," Tesis Doctoral, Université de Toulouse, 2008.
- [43] M. Mamei, R. Menezes, R. Tolksdorf, F. Zambonelli "Case Studies for Self organization in Computer Science," *Journal of Systems Architecture*, vol. 52, no. 6, pp. 443- 460, 2006.
- [44] S. Camazine, J. Deneubourg, N. Franks, J. Sneyd, G. Theraulaz, E. Bonabeau (2001). *Self-Organisation in Biological Systems*, Princeton University Press, USA.
- [45] H. Parunak, S. Brueckner, "Engineering Swarming Systems," F. Bergenti, M.P. Gleizes, and F. Zambonelli, editors, *Methodologies and Software Engineering for Agent Systems, Multiagent Systems, Artificial Societies and Simulated Organizations*, vol.11, pp. 341–376. Springer, 2004.
- [46] A. Kaur, y S. Goyal, "A survey on the applications of bee colony optimization techniques," *International Journal on Computer Science & Engineering*, 3(8),3037–3046.
- [47] D. H. Kim, "A swarm system design based on a modified particle swarm algorithm for a self-organizing scheme," *Advanced Robotics*, 20(8), 913–932.
- [48] S. Biswas y S. S. Mahapatra, "Modified particle swarm optimization for solving machine-loading problems in flexible manufacturing systems," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(9/10), 931–942.
- [49] I. Martínez-Díez, "Comportamiento agresivo en el pez luchador de Siam (*Betta splendens*)," *Anales Universitarios de Etología*, 2:98-105.

- [50] H. Gonzales, J. Taborda, P. Villegas, L. Peñuela, M. Giraldo, A. Hoyos, E. Simbaqueba, “Plan integral de ordenamiento ambiental y desarrollo territorial de la región Mojana,” Departamento Nacional de planeación, Caracterización DNP-DDTS.
- [51] V. Grimm, U. Berger, F. Bastiansen, S. Eliassen, V. Ginot, J. Giske, J. Goss, T. Grand, S. Heinz, G. Huse, A. Huth, J. Jepsen, C. Jorengsen, W. Mooij, B. Muller, G. Peer, C. Piour, S. Railsback, A. Robbins, M. Robbins, E. Rossmanith, N. Ruger, E. Strand, S. Souissi, R. Stillman, R. Vabo, U. Visse, D. DeAngelis, “A standard protocol for describing individual-based and agent-based models,” *Ecological Modelling* 115-126, ScienceDirect, 2006.
- [52] F. Joya, “Animal moral,” *Ensayos Entrelíneas Editores*, pp 213, 2012.
- [53] A. Schnek, A. Massarini, “Curtis Biología séptima edición,” Editorial Medica panamericana, 2008.
- [54] P. Valckenaers, Hadeli, B. Saint, P Verstraete, H. Van Brussel, “Emergent short-term forecasting through ant colony engineering in coordination and control systems,” *Advanced Engineering Informatics* 20 261–278 (2006).
- [55] A. Smith, “An inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations,” W. Strahan & T. Cadell, 1776.
- [56] E. Robinson, F. Ratnieks, M. Holcombe, “An agent-based model to investigate the roles of attractive and repellent pheromones in ant decision making during foraging,” *Journal of Theoretical Biology* 255 250–258, (2008).
- [57] F. Arito, “Algoritmos de Optimización basados en Colonias de Hormigas aplicados al Problema de Asignación Cuadrática y otros problemas relacionados,” Universidad Nacional de San Luis Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales Departamento de Informática, 2010.
- [58] S. Talreja, “Transforming the Concept of Double Bridge Experiment,” *International Journal of Scientific Engineering and Technology* Volume No.1, Issue No.4, pg : 107-110, 2012.
- [59] A. Ramis, “Los bienes comunes intangibles en el capitalismo cognitivo” *Recerca, revista de pensamiento y análisis*, NÚM. 15. 2014. ISSN: 1130-6149 – pp. 109-129, 2014.
- [60] E. Hogg, “Social Science and Civil Society,” *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition)*, Pages 576–582, 2015.
- [61] M. Harnecker, “Clases sociales y lucha de clases,” Akal Editor, 1979.
- [62] C. Harrington, A. Salen, T. Zurabishvili, “After communism critical perspectives on society and sociology,” Editorial Peter Lang, 2003.
- [63] M. Van der Linden, “Working Classes,” *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition)*, Pages 694-697, 2015.
- [64] Hánnés Siégríst, “Bourgeoisie and Middle Classes,” *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition)*, Pages 784-789, 2015.