

## CLUSTERS EN CULTIVOS ILÍCITOS: DETERMINANTES Y DINÁMICAS

José Alberto Guerra

Julián David Parada

Juan Pablo García

**SERIE DOCUMENTOS DE TRABAJO**

No. 24

Noviembre 2007

# Clusters en cultivos ilícitos: determinantes y dinámicas\*

J.A. Guerra    J.D. Parada    J.P. García

Facultad de Economía  
*Universidad del Rosario*

22 de noviembre de 2007

**Resumen:** *Los datos recientes de áreas de cultivos ilícitos indican que a pesar de las fumigaciones, la producción total se ha reducido levemente y los cultivos se han dispersado. Se plantea un modelo teórico que analiza las decisiones tomadas por los cultivadores sobre la localización de sus parcelas, basando esta escogencia en la minimización local de los costos esperados. Se utiliza un modelo de agentes para la simulación de la naturaleza compleja de las dinámicas estudiadas. Se encuentra que el incentivo para agruparse aumenta con las economías a escala y se reduce con la expectativa del castigo, sobretodo en zonas con alta densidad de cultivadores.*

**Clasificación JEL:** *K42,H56,C63.*

## 1. Introducción

Una parte de la literatura económica se ha concentrado en estudiar la manera en que unidades productivas legales se organizan geográficamente. Sin embargo, no se ha estudiado profundamente la organización de unidades ilegales. El estudio de estas últimas es interesante porque el comportamiento de las unidades productivas se aparta de la maximización global de beneficios.

En general, la naturaleza de las industrias ilegales hace que sus participantes tiendan a incrementar sus esfuerzos por reducir la probabilidad de ser castigados (Becker (1968) y Ehrlich (1996)) al mismo tiempo que buscan maximizar localmente sus beneficios dada la información que conocen.

Mediante un modelo de agentes se estudia el comportamiento de unidades que únicamente se dedican a la siembra de cultivos ilícitos. En particular, el caso analizado es comparable en parte con el cultivo de coca en Colombia. Lo anterior resulta razonable si se tienen en cuenta las particularidades de este proceso productivo en este país y los supuestos que definen el modelo. Sin embargo, como es

---

\*Una primera versión de este trabajo contó con los aportes imprescindibles de Anamaría Tibocho y Diego Corredor. Agradecemos la colaboración y sugerencias de Ricardo Bonilla, Jorge Villalobos y Roberto Zarama así como los comentarios recibidos por Gustavo Duncan, Luis Fernando Gamboa y los participantes al Seminario de Complejidad de la Universidad de los Andes.

natural, es necesario reconocer que el modelo no refleja fielmente la realidad subyacente al cultivo de coca en Colombia.

El objetivo del presente artículo es identificar las dinámicas de dispersión y agrupación de cultivos ilícitos en función de la disyuntiva entre beneficios y riesgos, siendo un primer avance hacia el estudio de formas organizativas ilegales.

La dinámica de los cultivos se determina de manera descentralizada. Sin embargo, en el caso colombiano, la dispersión de los cultivos parece presentar un comportamiento emergente a medida que se incrementan los riesgos de cultivar en agrupaciones grandes. Concretamente, se observa que la concentración de cultivos ilícitos se ha reducido a medida que se han incrementado las aspersiones aéreas como parte de los programas de erradicación.

Un indicio de lo anterior puede verificarse empleando el índice Herfindahl-Hirschman (IHH) como proxy para determinar la concentración de la producción. En la Tabla 1 se observa que en los años de 1999 y 2000 las plantaciones de coca se encontraban concentradas en pocos departamentos, para esos años el IHH fue de 0.20. Posteriormente, aunque los datos del Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (SIMCI) indican que el área cultivada se ha reducido, la concentración de cultivos también ha disminuído y ahora hay un mayor número de departamentos con plantaciones de coca. Para 2004 y 2005 el IHH fue de 0.13 lo que se constituye como una reducción en la concentración de las áreas cultivadas.

Cultivos de coca en Colombia por Departamentos 1999-2004 (Hectáreas)						
Departamento	Marzo 1999	Agosto 2000	Noviembre 2001	Diciembre 2002	Diciembre 2003	Diciembre 2004
Amazonas	0	0	532.17	784	625	783
Antioquia	3643.85	2546.95	3170.67	3030	4273	5168
Arauca	0	978.36	2749.34	2214	539	1552
Bolívar	5897.01	5960.04	4823.97	2735	4470	3402
Boyacá	0	322.34	244.8	118	594	359
Caldas	0	0	0	0	54	358
Caquetá	23718	26603.3	14515.82	8412	7230	6500
Cauca	6291.3	4575.61	3139.16	2120	1443	1266
Cesar	0	778.74	0	0	0	0
Chocó	0	250	353.64	0	453	323
Córdoba	1920.73	116.68	651.9	385	838	1536
Cundinamarca	0	65.8	21.62	57	57	71
Guainía	0	852.99	1318.17	749	726	721
Guajira	0	321.83	384.71	354	275	556
Guaviare	28435	17619.04	25552.57	27381	16163	9769
Magdalena	521	200.47	480.25	644	484	706
Meta	11383.95	11123.29	11425.38	9222	12814	18740
Nariño	3959.32	9343.35	7494.48	15131	17628	14154
Norte de Santander	15038.91	6279.85	9144.97	8041	4471	3055
Putumayo	58297.01	66022.36	47119.75	13725	7559	4386
Santander	0	2825.77	415.21	463	632	1124
Valle del Cauca	0	75.85	184.35	111	37	45
Vaupés	1014	1492.68	1917.7	1485	1157	1084
Vichada	0	4934.69	9165.87	4910	3818	4692
<b>TOTAL</b>	<b>160120.08</b>	<b>163289.99</b>	<b>144806.5</b>	<b>102071</b>	<b>86340</b>	<b>80350</b>
N° Departamentos afectados	12	21	22	21	23	23
Cobertura Nacional	0.12	0.41	1	1	1	1

Fuente: Gobierno de Colombia - UNODC. Censo de cultivos de coca 1999, 2000, 2001, 2002, 2003 y 2004

Figura 1: Hectáreas cultivadas por departamento 1999–2004

A pesar de los esfuerzos de las autoridades por erradicar las plantaciones, los cultivos parecen migrar hacia otras regiones generando un fenómeno conocido en la literatura como el *Efecto Globo* o *Balloon Effect* (Thoumi & Navarrete-Frías (2006)). Este efecto parece ser el resultado de la búsqueda

de reducción de riesgo por parte de los cultivadores frente a las políticas represivas. El Efecto Globo puede ocurrir porque la dispersión de los cultivos ayuda a reducir el riesgo de detección por parte de las imágenes satelitales (Thoumi & Navarrete-Frías 2006, p.53). En ese sentido, el entendimiento de la organización de unidades productivas cuando se pretende reducir la posibilidad de ser castigado, puede ser útil para comprender la movilidad y reacción de esas unidades frente a amenazas o acciones como las fumigaciones.

Dado lo anterior, la dinámica de los cultivos posee las características de un sistema complejo.<sup>1</sup> Por tal razón, en este documento se estudia dicha movilidad desde esta perspectiva.

La siguiente sección del documento describe brevemente algunas características de la producción de coca en Colombia. Posteriormente se presenta un marco de análisis de cultivos ilícitos y de modelos de unidades productivas. La cuarta sección describe el modelo y en la quinta se presentan los resultados. Finalmente se enuncian algunas conclusiones y posibles extensiones del modelo.

## 2. El cultivo de coca

En esta sección se presentan algunas características de localización geográfica del cultivo de coca en Colombia. Posteriormente se discuten brevemente las razones por las que determinados agentes deciden plantar ilícitos y se explica el tratamiento que en este documento se le da a ese tema.

### 2.1. Sobre los cultivadores

En general, los principales países productores de coca son Bolivia, Colombia y Perú. De acuerdo con los datos de las Naciones Unidas, en 2006, de las 156900 hectáreas de coca cultivadas a nivel mundial, 27500 fueron cultivadas en Bolivia, 78000 en Colombia y 51400 en Perú (UNODC 2007, p.64). Eso significa que, para ese año, el principal cultivador de coca fue Colombia, concentrando el 49.7% del total de cultivos de coca.

En el caso colombiano, siguiendo la clasificación de Vargas (2003), el cultivo suele llevarse a cabo por tres grupos de cultivadores de acuerdo al tamaño del área en la que cultivan: Pequeños cultivadores (1 y 3 hectáreas), medianos productores (3 a 10 hectáreas) y grandes productores (Vargas 2003, p.19). El primer grupo corresponde a cultivadores que se desplazan constantemente de una región a otra y por tanto presentan una alta movilidad. Dentro de este primer grupo se encuentran también productores que *"...mantienen vínculos de mayor arraigo en la zona y se mantienen por lo general atados a sus tierras..."* (Vargas 2003, p.19). Los productores del segundo y tercer grupo suelen poseer terrenos como fincas en las que administradores de las mismas se dedican al cultivo de la planta.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> A pesar del poco acuerdo dentro de la literatura sobre la definición de lo que es un sistema complejo, las características permanentes son: (i) el sistema exhibe dinámicas no triviales; (ii) jerarquías multiescala; (iii) grandes fluctuaciones y fuertes correlaciones; y además (iv) en el sistema se aprecia un orden emergente. Para una referencia a la literatura de sistemas complejos vea Comim (2000).

<sup>2</sup> Al respecto, mediante una entrevista formal, el experto en el tema Gustavo Duncan considera que, actualmente, la gran mayoría de cultivadores de coca en Colombia corresponde a colonos que constantemente se encuentran migrando en busca de tierras sin valor que puedan ser plantadas. Es decir, para Duncan, la mayoría de cultivadores pertenece al primer grupo

En Colombia, aunque el cultivo de coca suele llevarse a cabo en lugares apartados y zonas marginales de la frontera agrícola, en donde la presencia del estado es baja y las vías de penetración escasas (Thoumi (2002), Vargas (2003) y Jaramillo, Mora & Cubides (1989)), los cultivadores no necesariamente son campesinos o indígenas asentados en esos territorios. De hecho, se observa un elevado flujo de migrantes que varía constantemente (Jaramillo et al. (1989) y Vargas (2003)).

De acuerdo con Jaramillo et al. (1989), refiriéndose al caso del Caguán, entre los migrantes se observan grupos de personas “...desempleados o subempleados, [...], jóvenes en busca de enriquecimiento fácil, aventureros, etc. [...], los cuales buscan trabajar en una actividad que les asegura jornales muy superiores a los percibidos en zonas “normales” de producción capitalista” (Jaramillo et al. 1989, p.59).

En ese sentido, la movilidad de los cultivos que aquí tratamos no necesariamente está relacionada con las decisiones de un organismo o de un agente que coordine el proceso productivo.<sup>3</sup> La aparición de un cultivo suele ocurrir por la decisión individual de colonos que recorren el territorio en busca de tierras sin dueño, asentándose en ellas de manera temporal y organizando allí el proceso de cultivo de coca. (vea nota al pie 2). De hecho, los llamados colonos pueden ser caracterizados como personas dedicadas a la exploración de territorios de los que pretenden extraer rentas a través del ejercicio de actividades productivas legales o ilegales.<sup>4</sup>

Por lo anterior, si la mayoría de cultivadores de coca en Colombia pertenece al primer grupo de personas identificado por Vargas (2003), como lo afirma Duncan, la movilidad de cultivos de coca en Colombia puede ser equiparada con la movilidad de personas.

Esto no implica que todos los cultivadores de coca sean colonos nómadas, también es posible encontrar familias campesinas asentadas. Sin embargo, este no es el caso predominante y por tanto nos concentramos en el caso de individuos que migran constantemente.

## 2.2. Sobre la decisión de cultivar

Posiblemente el tema más difícil de estudiar se relaciona con las causas por las cuales los individuos deciden ejercer actividades ilícitas. Actualmente no se llega a un consenso sobre cuáles son los determinantes para que se cultiven ilícitos.<sup>5</sup> Las razones tradicionales que explican la participación en cultivos ilegales se basan en enfoques relacionados con la pobreza, falta de oportunidades y búsqueda de riqueza fácil, entre otros. A pesar de lo anterior, el cultivo de coca no genera rentas significativas (Uribe (1997) y Thoumi (2002)) y se suele confundir la riqueza obtenida por la comercialización y distribución de la cocaína con la rentabilidad del cultivo. En general, es difícil encontrar cultivadores adinerados por causa de la actividad ilegal.

---

identificado por Vargas (2003) y cultivan en terrenos de no más de 3 hectáreas. En este trabajo nos centramos especialmente en este tipo de cultivadores.

<sup>3</sup> Sin embargo, es importante tener en cuenta que las primeras plantaciones de coca pudieron haberse dado bajo la dirección de narcotraficantes que ofrecieron altos precios para que campesinos llevaran a cabo el cultivo. En ocasiones, los narcotraficantes ofrecieron fortunas y comodidades a sus cultivadores como medio de pago por desarrollar la actividad (Uribe 1997).

<sup>4</sup> Este fenómeno es un hecho observado en diferentes capítulos de la historia colombiana y no solo se presenta en el caso de los cultivos de coca. También es un hecho observado en otro tipo de actividades como la extracción del oro y, en general, la captura de rentas ‘sin dueño’. Algunas descripciones detalladas de estas prácticas se encuentran en Molano (2001).

<sup>5</sup> Para una discusión extensa con respecto a las diferentes posiciones ver Thoumi (1992) y Thoumi (2002).

En ese sentido, no sólo en el estudio de los cultivos ilícitos sino también en el análisis general de crimen e ilegalidad, los argumentos basados únicamente en las ganancias de las actividades ilegales son débiles. Por tal razón, se han comenzado a incorporar variables morales, sociales e institucionales, como determinantes de las decisiones de ingresar a una actividad ilegal (p. ej. Glaeser, Sacerdote & Scheinkman (1996), Hausman (1993) y Elster (1989)).

Respecto al cultivo de coca, Thoumi (2002) ofrece una explicación respecto a las ventajas que presenta una sociedad para que se desarrollen las industrias ilegales. Adicionalmente, en su trabajo, Thoumi introduce un modelo de toma de decisiones para ingresar a una actividad ilegal. Este enfoque es una modificación del modelo de portafolio del crimen de Becker (1968) y se incorporan variables morales y sociales sobre la expectativa de ganancia de los agentes (Thoumi 2002, p.93).

Por su parte, Ibañez (2007) desarrolla un modelo sobre la elección de ejercer actividades ilícitas. Específicamente, complementario a Thoumi (2002), en este trabajo se ofrecen condiciones explícitas de participación en el cultivo de coca.

Entre los resultados de Ibañez llama la atención que, bajo las condiciones del modelo, un individuo que tenga oportunidades alternativas al cultivo de coca no necesariamente va a renunciar a esta actividad.<sup>6</sup> Este aspecto es importante porque formalmente se muestra que los incentivos relacionados con ganancias no son suficientes para explicar la participación en el cultivo de coca. Asimismo, se muestra que un individuo sin oportunidades presenta una mayor disposición a participar en el cultivo de coca y, similar a Thoumi, la moral es un determinante fundamental para explicar dicha participación.

En el presente documento suponemos que para todos los individuos se cumplen las condiciones que aseguran la participación en el cultivo de coca y estas se mantienen para cada simulación.<sup>7</sup> Lo anterior implica que los individuos contemplados no mueren sino que migran. En otras palabras, en el modelo no existe erradicación de cultivos ni se considera la decisión de cultivar, únicamente se estudia la decisión de dónde hacerlo. Este aspecto debe considerarse como una extensión de este documento.

### 3. Literatura relacionada

#### 3.1. Trabajos sobre cultivos ilícitos

En general, los estudios se dedican a analizar las cifras de producción de drogas, los efectos de las políticas anti-drogas y los factores que influyen en el desarrollo de este fenómeno. Son pocos los estudios que intentan modelar la dinámica de los cultivos ilícitos e identificar las tendencias que presentan.

Díaz & Sánchez (2004) explican la relación entre producción de coca y conflicto armado, suponiendo que los grupos armados ilegales buscan ganar control territorial y debilitar a el Estado o grupo ri-

<sup>6</sup>Un individuo carece de oportunidades alternativas al cultivo de coca si se cumple que  $Y_{min} > W + \Pi_l(L)$ , donde  $Y_{min}$  es el ingreso mínimo necesario para subsistir,  $W$  es el nivel de riqueza inicial del individuo y  $\Pi_l(L)$  son los beneficios que el individuo obtendría si se dedica a actividades lícitas (Ibañez 2007, p.7).

<sup>7</sup> Cumpliendo las condiciones requeridas en Ibañez (2007).

val. La estrategia que siguen estos grupos es la generación de ingresos y la consolidación de una base social. Así, bajo un contexto de fumigación, los cultivos ilícitos resultan de la relación intertemporal entre los objetivos de los grupos armados y la actividad militar estatal.

En Grossman & Mejía (2007) se desarrolla un modelo de guerra contra las drogas. Se trata de un juego dinámico de tres etapas en donde los productores de drogas se encuentran en conflicto con el Estado por el control de la tierra, seguido de un conflicto entre los productores por las tierras cultivables sin control del Estado y la realización de programas de erradicación e interdicción estatal. El modelo identifica dos aspectos generales de la problemática: primero, la disputa por las tierras por parte de grupos ilegales para llevar a cabo el cultivo; y segundo, la incidencia de obstáculos a la producción y exportación de drogas como la erradicación y destrucción de laboratorios. Los autores concluyen que la implementación del Plan Colombia ha disminuido las exportaciones de coca, pero la asignación de recursos de este Plan es ineficiente.

Aplicando otra metodología, Arce & Reales (2006) construyen un modelo que busca determinar la conexión entre cultivos ilícitos, ayuda externa y violencia. Encuentran que la ayuda militar es inefectiva en términos de la reducción de la producción de coca en los países con altos niveles de violencia política y que el aumento de la producción de coca exhibe una tendencia a aumentar la violencia. De igual forma verifican la existencia de efecto globo en la región andina: “... la disminución en la producción en un país conduce al aumento en la producción en los otros dos países.” (Arce & Reales 2006, p.41).

### 3.2. Modelos de simulación en distritos industriales

No existen trabajos previos que traten a las plantaciones de cultivos ilícitos como distritos industriales, ni tampoco que los estudien por medio de la herramienta que se utiliza en la presente aproximación. A continuación se presenta una reseña de la literatura de los distritos industriales tratados por medio de herramientas como los autómatas celulares y modelos de agentes.

La literatura de distritos industriales se ha desarrollado ampliamente en los últimos años y su pregunta principal son los determinantes del éxito económico de regiones especializadas en la producción de cierta gama de bienes. Ejemplos clásicos como la Tercera Italia y Silicon Valley han sido sujetos a amplias y profundas investigaciones.<sup>8</sup> A pesar del crecimiento de esta literatura, los estudios sobre el surgimiento de los distritos industriales no son generales, se refieren a condiciones específicas del distrito y de la actividad económica que realizan.

De éstos trabajos se destacan dos cuyo enfoque se relaciona con el presente. Brenner (2001) utiliza un autómata celular e intenta identificar los mecanismos básicos que subyacen a la evolución de distritos industriales. Utiliza la simulación de la dinámica espacial de entradas, salidas y crecimiento de las firmas, modelando de forma explícita los mecanismos que causan la concentración geográfica de las firmas.

El segundo artículo relacionado es Albino et al. (2006), allí los autores se concentran en un tema

---

<sup>8</sup> Para una referencia sobre distritos industriales Porter (1998). Para una referencia sobre los distritos industriales como sistemas complejos Albino, Carbonara & Giannoccaro (2006).

que la literatura de distritos industriales no ha tratado profundamente: el proceso de innovación al interior de los distritos. Los autores encuentran que el fenómeno de los distritos industriales entra en la categoría de complejidad y por ello para su análisis utilizan un modelo de agente. Su principal aporte es que el proceso de innovación de las firmas dentro de un distrito industrial debe ser modificado en el tiempo para asegurar la supervivencia de la firma en ambientes altamente competitivos.

Los anteriores estudios se diferencian del presente por su objeto. Las industrias ilegales manejan una racionalidad diferente a la de las actividades legales, lo que hace a estos estudios incomparables.

## 4. Descripción del modelo

Con base en la movilidad de los cultivadores el modelo responde a la pregunta del cultivador sobre *dónde producir*, la decisión de producir o no hacerlo se considera exógena a este. De este modo, el presente estudio se concentra en aquella porción de la población que ya ha asumido la decisión de producir y se enfrenta ahora a la decisión de dónde hacerlo.

### 4.1. Modelo básico

Se asume la existencia de  $N$  agentes,<sup>9</sup> cada cual habita un espacio de tamaño  $1 \times 1$  de un área total de  $A$ . De este modo  $N \in [0, A]$ . Cada uno de ellos es una unidad productiva efectiva y no potencial.

Dadas las características del mercado de la coca las unidades productivas no buscan zonas de fácil acceso o vías primordiales de transporte, ya que la cercanía a aquellas está bastante correlacionada con la existencia de centros urbanos y acopio de importancia. De este modo, los cultivadores buscarán zonas en la cuales el riesgo a ser descubierto sea bajo.

Los cultivadores buscan zonas geográficas que impliquen seguridad en su producción, oportunidades de venta de su producto en centros de comercio establecidos y oportunidades de economías de escala e intercambio con otros productores.<sup>10</sup>

Es usual que los compradores del producto de los cultivos (hoja de coca) lleguen directamente hasta las áreas de cultivo y adquieran el producto, de esa manera los cultivadores evitan los costos de transporte.<sup>11</sup> De hecho, en ocasiones, cuando en los territorios en los que se cultiva coca se encuentran grupos guerrilleros, éstos últimos organizan días especiales de mercado en zonas cercanas a las áreas

<sup>9</sup> Que se determinarán de acuerdo a una densidad demográfica igual a  $dens$

<sup>10</sup> las economías de escala se generan por la cercanía con otros cultivadores, ya que tendrán acceso a insumos más baratos, seguridad ofrecida por grupos al margen de la ley e intercambio de información, etc.

<sup>11</sup> Por ejemplo, en las descripciones y contabilizaciones del proceso productivo Uribe (1997) no menciona costos asociados con el transporte de la hoja. Se hacen estimaciones sobre costos de instalación, salarios, etc, pero no se hacen mayores precisiones sobre costos de transporte del producto del cultivo. Se observa que el producto generado por el cultivador tiene un inmediato comprador que accede hasta las zonas de plantación. Sin embargo, en la mayoría de casos descritos, la hoja es procesada en las mismas áreas de cultivo para ser transformada en base. Como menciona Thoumi (1992), las actividades relacionadas con la transformación de hoja de coca en pasta se llevan a cabo cerca a las plantaciones de la hoja. De otro lado, según Uribe (1997), para los casos de cultivos organizados se menciona la integración vertical de la industria para reducir costos de seguridad, transporte e intermediarios. Sin embargo, en ese caso, se hace referencia al comercio de la base, no al de la cosecha.



de cultivo en donde los “coccaleros” llevan su producto y los ofrecen a los procesadores de la hoja de coca.<sup>12</sup>

Como consecuencia, los cultivadores buscarán asociarse con otros para formar núcleos productivos o distritos industriales. Esta actitud genera dos efectos contrarios: el primero es positivo ya que se genera un ambiente de producción más propenso a las economías de escala, pero a medida que ese núcleo productivo o distrito industrial es más numeroso, la probabilidad de ser detectado tiende a aumentar y por tanto se genera un efecto negativo ya que existe un incremento en el riesgo de captura.

Una manera de aproximarse a la percepción de riesgo es mediante una expectativa objetiva de captura que se denota por  $\rho$  para cada individuo

$$\rho(\eta) = \frac{\eta + 1}{A - (N - \eta - 1)} \quad (1)$$

Donde  $\eta$  es el número de otros agentes en la plantación o núcleo productivo al que pertenece el individuo.

Note que

$$\frac{d\rho(\eta)}{d\eta} = \frac{A - N}{(A - N + \eta + 1)^2} \geq 0 \quad (2)$$

Así mismo esta probabilidad está acotada por los siguientes límites

$$\lim_{\eta \rightarrow 0} \rho(\eta) = \frac{1}{A - N + 1} \quad \lim_{\eta \rightarrow \infty} \rho(\eta) = 1$$

En la figura 2 se observa que la probabilidad de captura es creciente con el número  $\eta$  de vecinos que posee el cultivador y que ese incremento es mucho mayor en las áreas que presentan densidades demográficas altas ( $N$  cercano a  $A$ ). De ahora en adelante los gráficos reteñidos representarán densidades mayores a los gráficos de líneas delgadas.

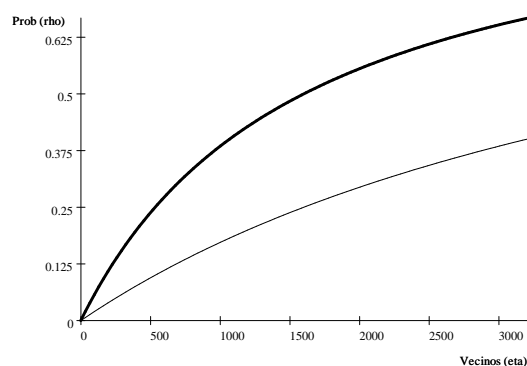


Figura 2:  $\rho$  vs  $\eta$  ( $dens = 0,25, 0,75$ )

Por otro lado, para aproximarse al efecto positivo de las economías de escala, se considera el costo del cultivador. La maximización global del beneficio como función objetivo del cultivador carece de

<sup>12</sup> Ver cita 2.

peso. Por ello resulta razonable considerar la búsqueda de un mínimo costo independiente del nivel de producción (que siempre es igual a 1 porque los individuos son unidades productivas efectivas) al mismo tiempo que se decide una localización geográfica que permita minimizar el riesgo, como el primitivo que dicta la conducta de los agentes.

La producción de una unidad del bien requiere de la misma cantidad de insumos siempre (una unidad de tierra “sin dueño” y otros insumos). El cultivador posee un capital  $M$  que puede perder en caso de ser castigado; por ejemplo si es fumigado.

Dado que el costo de la tierra es insignificante, el cultivador sólo enfrentará costos por aglomerarse o por producir de manera aislada. Por ejemplo, si el cultivador decide producir en una aglomeración, puede enfrentar mayores costos por tensiones con otros cultivadores, robos, incrementos en su valoración del riesgo, etc. Si por el contrario el cultivador decide aislarse, puede enfrentar costos como el dejar de percibir beneficios de las economías a escala, información, protección de grupos armados, etc.

Los costos de producción se definen como una función  $c$  dada por la siguiente ecuación

$$c(\eta, \kappa, K) = \kappa + \frac{\eta}{N}(K - \kappa) \quad (3)$$

donde  $\kappa$  es el costo en el que incurriría el cultivador si produce alejado de cualquier otra unidad productiva, es decir sin vecinos próximos. El costo adicional en el que incurre al rodearse de por lo menos un cultivador es  $K$ . Note que

$$\begin{aligned} \frac{\partial c(\eta, \kappa, K)}{\partial \eta} &= \frac{1}{N}(K - \kappa) \begin{cases} \geq 0 & \text{si } K \geq \kappa \\ \leq 0 & \text{si } K < \kappa \end{cases} \\ \frac{\partial c(\eta, \kappa, K)}{\partial \kappa} &= 1 - \frac{1}{N}\eta \in [0, 1], \forall \eta < N \\ \frac{\partial c(\eta, \kappa, K)}{\partial K} &= \frac{1}{N}\eta \in [0, 1], \forall \eta < N \end{aligned} \quad (4)$$

Según las ecuaciones anteriores, si el costo en el que incurre un cultivador estando solo ( $\kappa$ ), es muy elevado (tanto más que el costo en el que incurriría rodeándose de otros cultivadores), los costos ( $c$ ) disminuirán si se forman coaliciones mucho más grandes (es decir, a medida que  $\eta$  aumenta).

En la figura 3 puede observarse el efecto que tiene esta diferencia entre costo individual ( $\kappa$ ) y costo coalicional ( $K$ ). Las líneas de color azul representan un caso especial para el cual no existirán incentivos a agruparse ya que el costo  $K$  es mayor al costo  $\kappa$ , se observa que el costo para el cultivador de producir en esa situación, a incrementos en el número de vecinos, es cada vez mayor. Sin embargo este incremento marginal es mucho mayor para poblaciones con bajas densidades poblacionales. Por su parte, las líneas de color negro representan un caso para el cual hay incentivos claros para crear coaliciones (ya que  $K < \kappa$ ). Lo que se observa es que a mayor número de vecinos el costo irá disminuyendo pero ese decremento será sustancialmente menor para zonas densamente pobladas.<sup>13</sup>

Lo que indican estos resultados analíticos es que el problema al que se enfrentará el cultivador será la decisión de sustituir costo individual ( $\kappa$ ) por costo grupal ( $K$ ). Para hacer énfasis en aquella

<sup>13</sup> En los resultados de las simulaciones se podrá observar que existe una sustituibilidad, en términos de costos, entre el diferencial  $K - \kappa$  y la densidad de la población, lo cual podría sugerir la presencia de transiciones de fase.

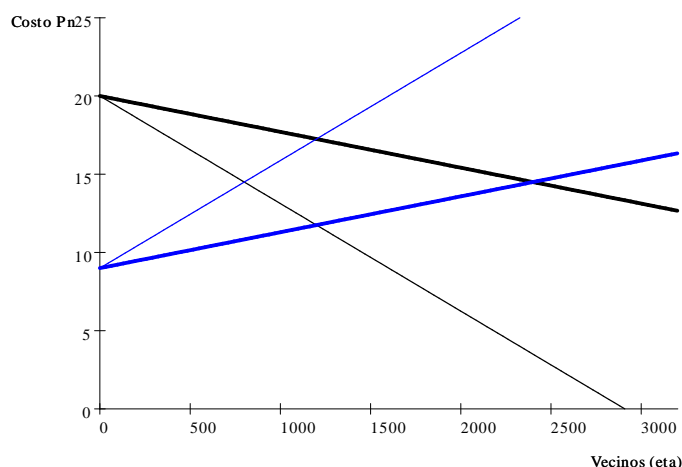


Figura 3: [ $dens = 0,25$  vs  $dens = 0,75$  dado  $K = 9, \kappa = 20$  (Negro)] y [ $dens = 0,25$  vs  $dens = 0,75$  dado  $K = 20, \kappa = 9$  (Azul)]

relación en la tabla 1 se observa de qué manera comienza a existir una cierta sustituibilidad entre los costos individuales y grupales a medida que aumentan el número de vecinos que tiene un cultivador. Note que si un cultivador hace parte de una coalición muy pequeña ( $\eta = 0,01N$ ) el costo  $K$  no obtiene una ponderación muy alta y por tanto el cultivador estará dispuesto a cambiar parte de su costo individual  $\kappa$  por  $K$ .<sup>14</sup> Lo contrario sucede si el cultivador hace parte ya de una coalición muy numerosa ( $\eta = 0,99N$ ).

$dens = ,25, dens = ,75$		$RMS_{K\kappa}$
$\eta = 0,01N$	$0,01K + 0,99\kappa$	$\approx 1.0101 \times 10^{-2}$
$\eta = 0,5N$	$0,5K + 0,5\kappa$	$\approx 1$
$\eta = 0,99N$	$0,99K + 0,01\kappa$	$\approx 99$

Cuadro 1: Sustituibilidad entre  $\kappa$  y  $K$  para distintos umbrales de número de vecinos  $\eta$

El siguiente diagrama (Figura 4) representa la curva de isocoste para los umbrales de vecinos especificados en la Tabla 1. Puede apreciarse que a cambios en el tamaño del núcleo productivo al que pertenece el cultivador, la tasa a la cual está dispuesto a sacrificar “compañía” por “soledad” cambia.

Ahora bien, para conjugar las dos aproximaciones (riesgo  $\rho$  y costo  $c$ ) se establece una función de costo esperado  $C$ , en donde el costo de ser castigado es  $M$ . De esta forma, el costo esperado de

<sup>14</sup> La relación a la que está dispuesto a intercambiar  $K$  por  $\kappa$  viene descrita por la Relación Marginal de Sustitución  $RMS_{K\kappa}$  ( $\frac{\partial c / \partial K}{\partial c / \partial \kappa}$ ) que puede interpretarse como la tasa a la cual el cultivador será indiferente, ya que le generaría los mismos costos, entre un peso más en costo grupal que un peso más en costo individual.

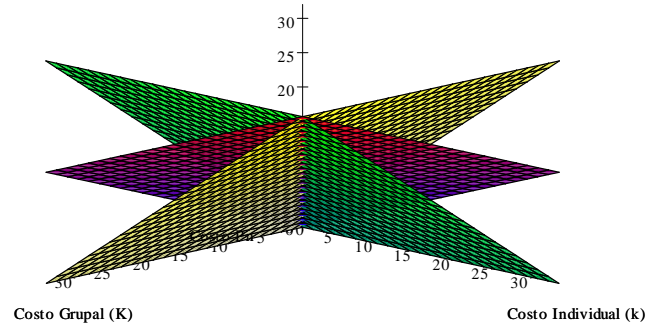


Figura 4:  $c(\eta, \kappa, K)$  vs  $\eta = \{0,01N, 0,5N, 0,99N\}$

producir en una plantación determinada viene dado por la siguiente función

$$\begin{aligned} C(\eta, \kappa, K, M) &= \rho(\eta)M + c(\eta, \kappa, K) \\ &= \kappa - \frac{1}{N}\eta(\kappa - K) + M\frac{\eta + 1}{A - N + \eta + 1} \end{aligned}$$

A partir de ?? se tiene:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C(\eta, \kappa, K, M)}{\partial \eta} &= \frac{1}{N}(K - \kappa) + \frac{(A - N)M}{(A - N + \eta + 1)^2} \\ \frac{\partial C(\eta, \kappa, K, M)}{\partial \kappa} &= \frac{\partial c(\eta, \kappa, K)}{\partial \kappa} = 1 - \frac{1}{N}\eta \\ \frac{\partial C(\eta, \kappa, K, M)}{\partial \kappa} &= \frac{\partial c(\eta, \kappa, K)}{\partial K} = \frac{1}{N}\eta \end{aligned}$$

En general los signos serán equivalentes a los de la función de costo individual  $c$  salvo por las interacciones existentes entre  $\rho$  y la magnitud de  $M$ .

## 5. Resultados

Con base al pseudocódigo que se especifica en el Anexo A, las variaciones que se hicieron en los parámetros de control fueron las siguientes

$$\begin{aligned} dens &= \{0,25, 0,5, 0,75, 0,99\} \\ \kappa = K &= \{1, 5, 9, 13, 17\} \\ M &= \{0, 2,5, 5, 7,5, 10\} \end{aligned}$$

los resultados que se reportarán de las simulaciones corresponden al número promedio de vecinos en cada momento del tiempo ( $\eta$ ), la probabilidad promedio ( $\rho$ ), el porcentaje de cultivadores que con-

tinúa moviéndose en cada momento del tiempo hasta llegar al estado estacionario de la estimación<sup>15</sup>, el costo de producción y el costo esperado promedio ( $c$  y  $C$  respectivamente).

A continuación se enumeran los principales hallazgos.

**Resultado 1.** *El incentivo a establecer distritos industriales y aglomeraciones es bastante sensible al diferencial  $K - \kappa$ .*

Para mostrar la validez de la proposición 1 es conveniente mirar las figuras 5 y 6.<sup>16</sup> La única diferencia entre estos dos gráficos es el diferencial  $K - \kappa$ . En la figura 5 este es positivo y por lo tanto existen incentivos a agruparse mientras que en la figura 6 el diferencial es negativo. Puede observarse que cuando hay incentivos a aglomerarse la probabilidad objetiva de ser capturado aumenta al mismo tiempo que el número de vecinos lo hace, pero este efecto es contrarrestado con las economías a escala que inciden en la disminución del Costo esperado de producción.

La interpretación de la proposición 1 puede indicar que las aglomeraciones de los cultivadores son sensibles a la percepción que tengan de las economías a escala que se encontrarían dentro de ese distrito industrial. Es razonable pensar que esa percepción depende de la seguridad o las redes que se constituyen dentro de las zonas; por ejemplo, mediante la custodia de grupos al margen de la ley.

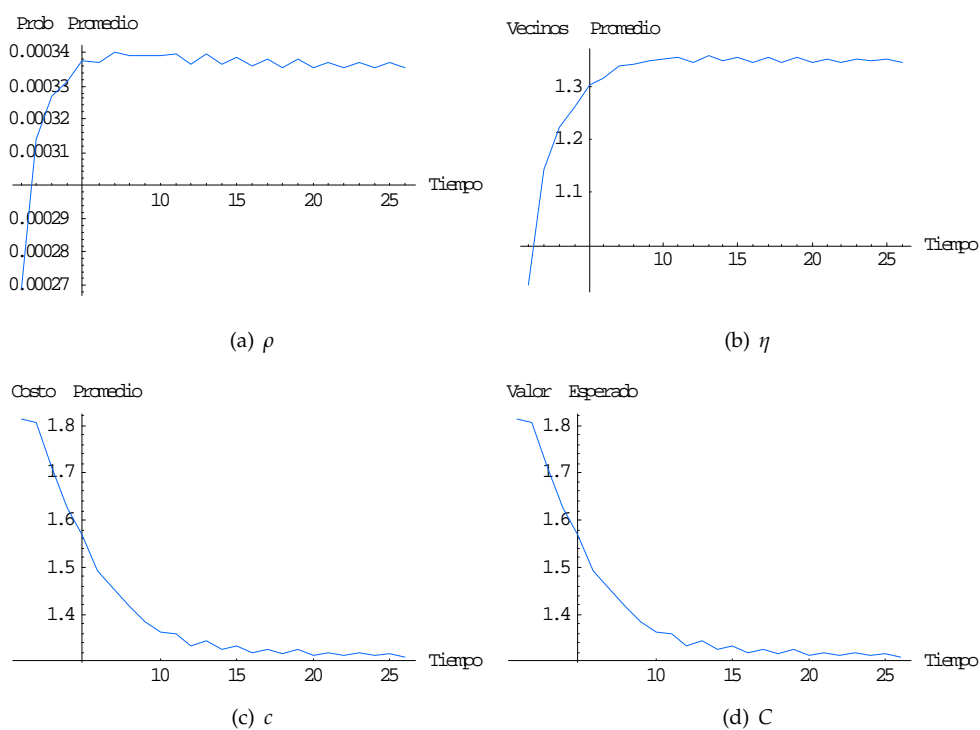


Figura 5:  $dens = 0,25, \kappa = 5, K = 1, M = 0$

<sup>15</sup> cuando el valor de este porcentaje en el momento  $t$  es estadísticamente equivalente al valor en el momento  $t - 5$

<sup>16</sup> Así mismo puede remitirse a las figuras del Anexo (sección A) en el que se presentan los estados del mundo iniciales y finales

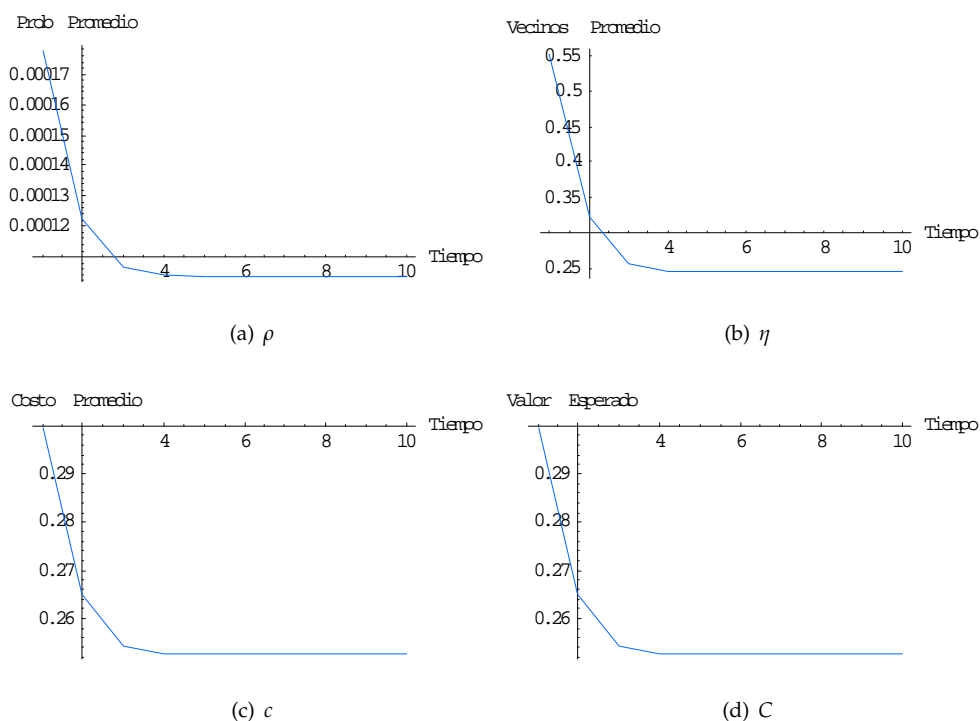


Figura 6:  $dens = 0,25, \kappa = 1, K = 5, M = 0$

**Resultado 2.** El incentivo a agruparse dado por  $K < \kappa$  se contrarresta fuertemente con el costo de ser “castigado”  $M$ ,

**Observación 2.1.** Aumentos en el costo del castigo cuando hay incentivos a agruparse disminuyen monótonicamente el número de vecinos promedio

Las figuras 7 y 8 dan sustento a la proposición 2. En este caso la única diferencia es un incremento sustancial en la pérdida del capital tierra en la que incurriría el cultivador si llegase a ser fumigado de 0 a 10. Note que en el primer caso (Figura 7) la probabilidad de ser ubicado crece precipitadamente en un principio para luego bajar a un nivel mayor al inicial, junto con el incremento y consecuente estabilización del número de vecinos al mismo tiempo que el costo esperado baja.

Por su parte cuando el costo de ser castigado se incrementa (Figura 8) la probabilidad de ser ubicado disminuye conjuntamente con la reducción del número de vecinos. Si se remite al estado final del mundo figura 15 de los anexos, se observa que los cultivadores están buscando la mejor manera de separarse unos de otros.

Por otro lado, el contraste de la figura 8 con la figura 9 da sustento al Corolario 2.1. En el primer caso el número de vecinos de estabilización es cercano a 1.4, mientras que para la figura 9, cuando el costo  $M$  disminuye a 7.5, el número de vecinos es cercano a 4.

La interpretación de la proposición 2 y de su corolario puede sugerir que la magnitud de la pérdida causada por un castigo puede contrarrestar los efectos positivos de la aglomeración. En todo caso, difícilmente puede pensarse que para los cultivadores este es un aspecto muy importante ya que el

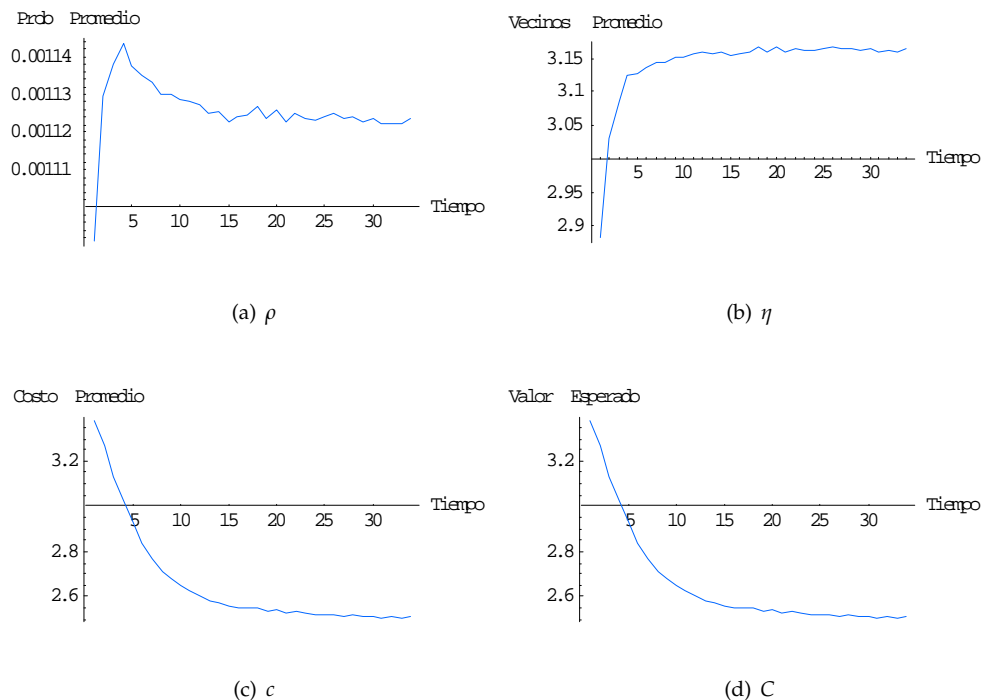


Figura 7:  $dens = 0,5, \kappa = 5, K = 1, M = 0$

capital en riesgo son tierras de baja fertilidad, de difícil acceso y ubicadas en zonas en las que no están muy arraigados y por tanto el valor de  $M$  puede ser bajo, sin embargo  $M$  podría incluir costos morales, psicológicos o sociales que pueden ser importantes para la decisión del individuo. En otras palabras, según el modelo propuesto, incrementar el valor de ese castigo conlleva a una dispersión de los cultivos.

**Resultado 3.** *En presencia de incentivos para aglomerarse ( $K < \kappa$ ) y bajos costos de castigo ( $M$ ), unas altas densidades poblacionales ( $dens$ ), si bien mantienen los incentivos a aglomerarse, conllevan a la disminución del número de vecinos hasta llegar a un número “óptimo” de ellos (disminuye  $\eta$ ).*

Las figuras 10 y 11 son evidencias de la proposición 3 ya que en la primera tenemos una densidad bastante alta y un incentivo a la aglomeración. Sin embargo los cultivadores están buscando maneras de disminuir el número de vecinos que tienen cerca. En todo caso no se están alejando completamente (no están buscando un  $\eta \rightarrow 1$ ) como en el caso de la Figura 11, en donde los individuos también están buscando alejarse pero de forma más eficiente. De todos modos, el número promedio de vecinos en el primer caso se estabiliza en cerca de 5.38 individuos mientras que para el último caso es cercano al 1.4.

Esta proposición es quizás la más interesante en términos de prever dinámicas futuras de localización de las unidades productivas. Aún contando con incentivos para aglomerarse y enfrentando bajas pérdidas de capital por el castigo, unas altas densidades poblacionales, si bien mantienen los incentivos a aglomerarse, conllevan a que los cultivadores busquen disminuir el número de vecinos

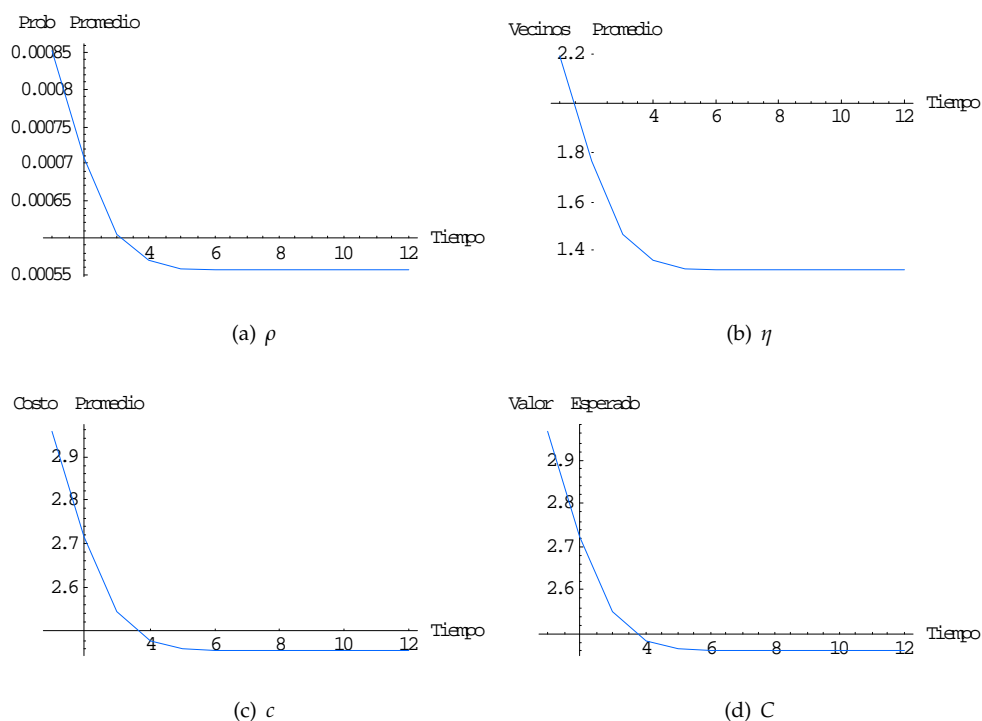


Figura 8:  $dens = 0,5, k = 5, K = 1, M = 10$

con los que comparten el distrito industrial hasta llegar a un número “óptimo” de  $\eta$ .

Lo anterior sugiere que en zonas con una gran cantidad de cultivadores, uno de los efectos que puede causar el castigo, como la fumigación, o su mera expectativa, es la migración de estos hacia otras áreas o regiones aledañas con menores densidades y por tanto riesgos más bajos de captura. Lo anterior haría aún más difícil la tarea de identificación de zonas cultivadas y explayaría los aspectos negativos de estos cultivos sobre otras zonas geográficas.

**Observación 1.** *¿Qué tan sensible es la aglomeración al cambio de densidades?*

Note que si se incrementa el valor de la pérdida del capital tierra  $M = 0,5$  y la densidad es muy baja, los individuos se agruparan si están dispuestos los incentivos necesarios ( $\kappa > K$ , Figura 12). Sin embargo, si hay un aumento en la densidad (de  $dens = 0,25$ , Fig 12, a  $0,75$ , Fig 13) los incentivos de los cultivadores a aglomerarse desaparecen aún para costos muy pequeños de ser castigado. Lo anterior puede ser evidencia de la existencia de transiciones de fase en el movimiento de los cultivadores frente a los choques causados por el castigo dadas determinadas densidades poblacionales.



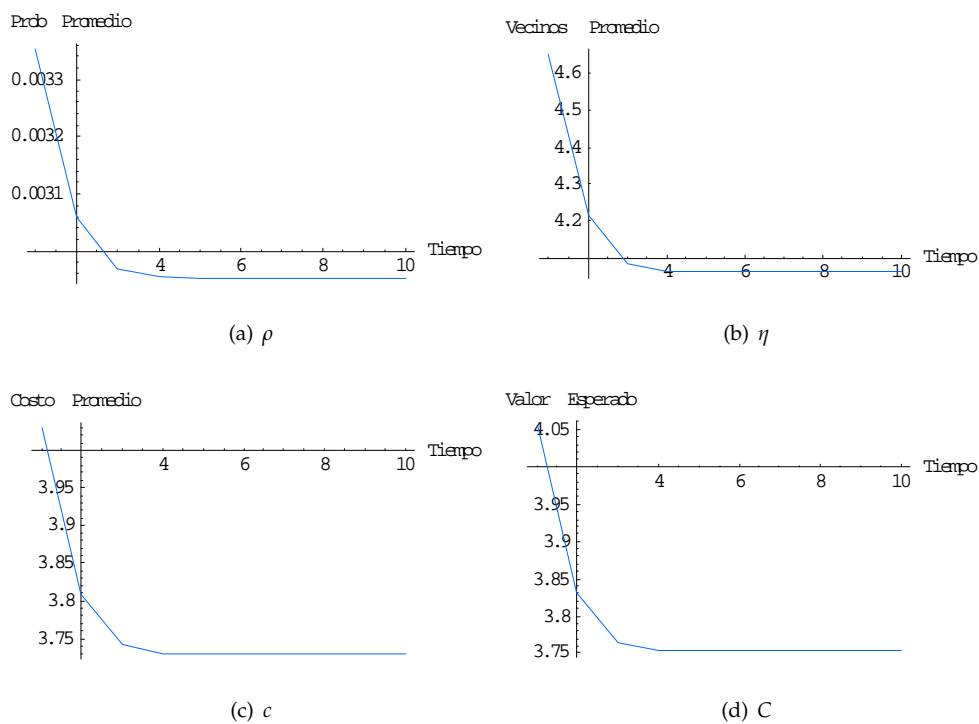


Figura 9:  $dens = 0,5, k = 5, K = 1, M = 7,5$

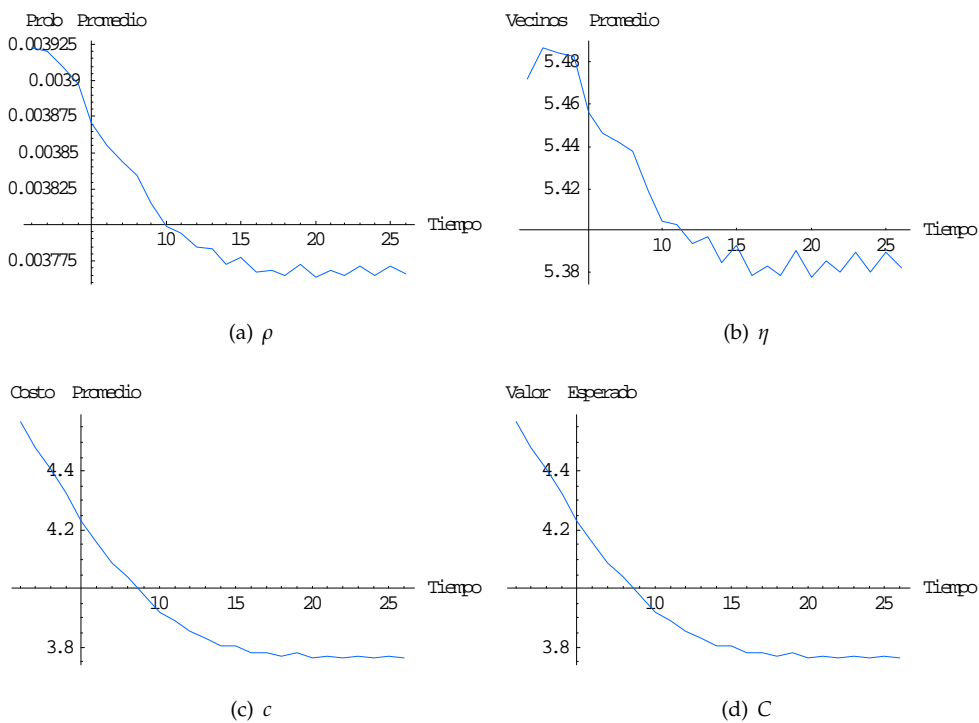


Figura 10:  $dens = 0,75, k = 5, K = 1, M = 0$

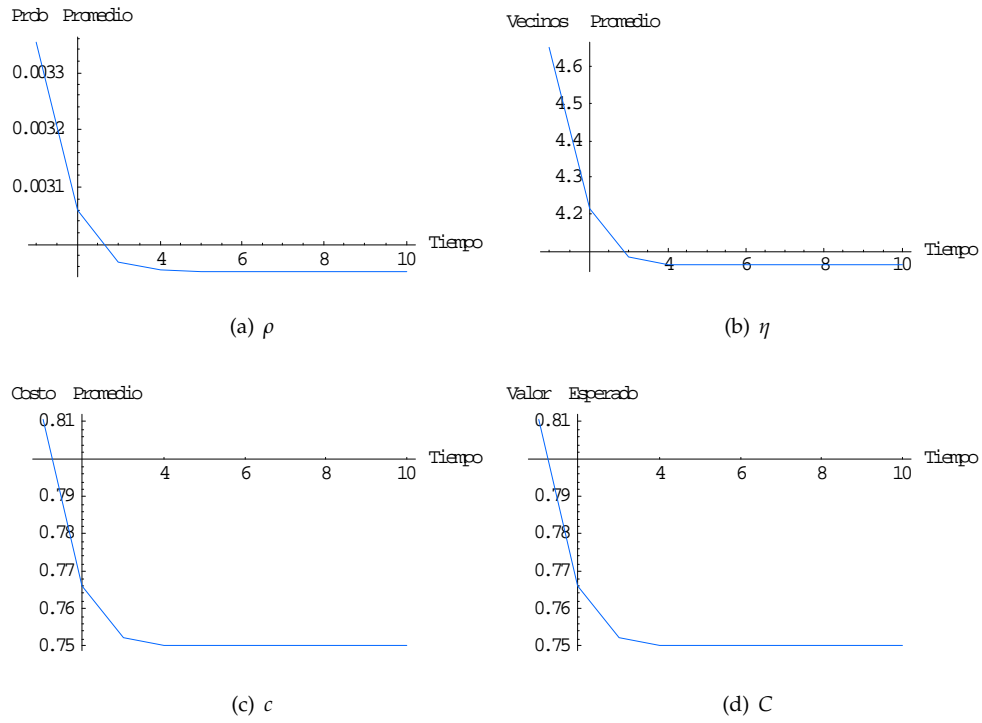


Figura 11:  $dens = 0,75, k = 1, K = 5, M = 0$

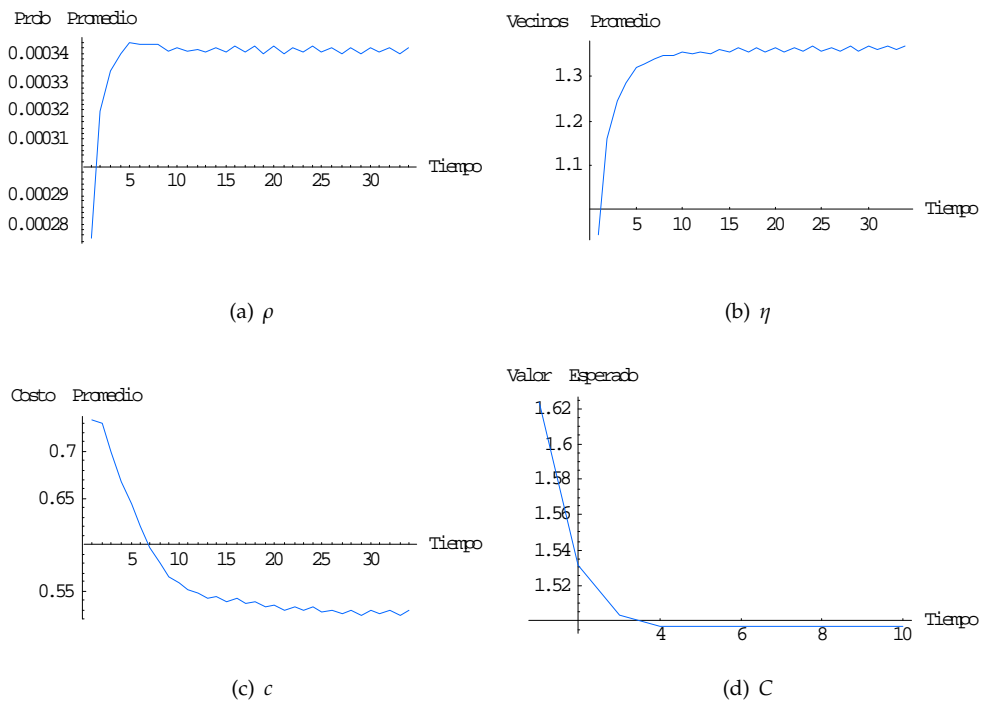
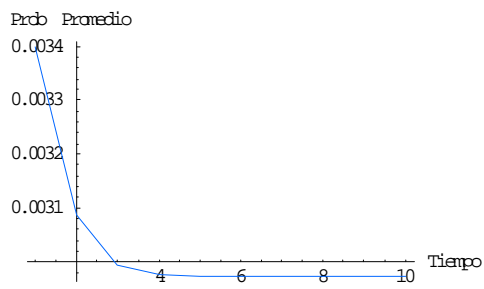
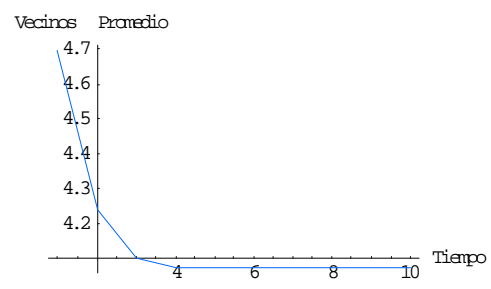


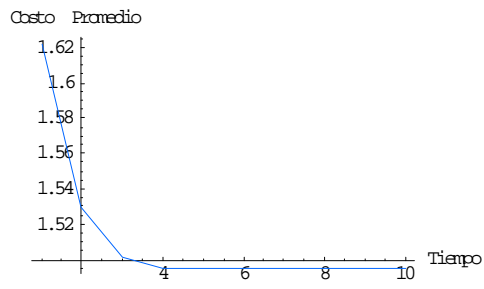
Figura 12:  $dens = 0,25, \kappa = 2, K = 1, M = 0,5$



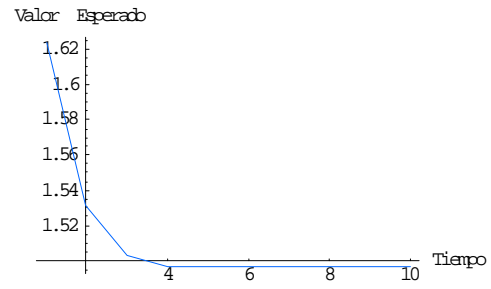
(a)  $\rho$



(b)  $\eta$



(c)  $c$



(d)  $C$

Figura 13:  $dens = 0,75, \kappa = 2, K = 1, M = 0,5$

## 6. Conclusiones

El modelo de simulación propuesto en este estudio constituye un avance en la literatura ya que aborda el tema de los cultivos ilícitos desde la perspectiva del cultivador que está decidiendo en dónde establecer su parcela. Los resultados de este modelo podrían ayudar a entender las dinámicas de los cultivos ilícitos que se observan en la última década, incitadas por el incremento en los castigos como las continuas fumigaciones.

La aproximación que se siguió tiene en cuenta que los cultivadores no maximizan los beneficios, como ha sido el enfoque usual en la literatura, sino que toman la decisión de dónde producir en función de la reducción del costo esperado. Este último está determinado por la expectativa objetiva de captura y las externalidades positivas de la aglomeración. Un aspecto importante es que el tipo de aglomeraciones encontradas en las simulaciones coincide con lo que se observa en los datos geográficos: Los cultivadores no tienden a agruparse en grandes extensiones de tierra sino que están dispersos en minifundios.

Se encuentran evidencias para establecer que los incentivos que tienen los cultivadores para formar aglomeraciones es bastante sensible a las economías a escala, que pueden ser vistas como la percepción que tienen sobre la seguridad o las redes que se constituyen dentro de las zonas custodiadas por grupos al margen de la ley, que encuentren de esa aglomeración.

Bajo el modelo, el incentivo a agruparse dado por esas economías a escala se contrarresta fuertemente con el costo o expectativa de ser “castigado” y más aún de la magnitud de la pérdida que ello conllevaría. En todo caso, difícilmente puede pensarse que para los cultivadores este es un aspecto muy importante ya que el capital en riesgo son tierras de baja fertilidad.

En presencia de incentivos para aglomerarse y bajas pérdidas de capital por el castigo, unas altas densidades poblacionales, si bien mantienen los incentivos a aglomerarse, conllevan a la disminución del número de vecinos hasta llegar a un número “óptimo” de ellos. Esto podría sugerir que uno de los efectos que puede causar la expectativa de fumigación sobre zonas con una gran cantidad de cultivadores es la migración de estos hacia otras zonas aledañas con menores densidades y por tanto menores riesgos de captura.

Algunas preguntas quedan sin respuesta: ¿Qué tan sensible es la aglomeración al cambio de densidades?, ¿cómo es la dinámica de producción si se permiten choques endógenos que inhabilitan algunas zonas para el cultivo futuro por un lapso determinado (i.e. una fumigación y el consistente despliegue militar en la zona)?

### 6.1. Trabajo Futuro

El trabajo futuro se concentrará en dos frentes: primero, demostrar que el modelo arroja resultados que no son aleatorios, es decir que tienen una estructura subyacente y el método para mostrar esto es el análisis de la localización final de los cultivadores utilizando la transformación de Fourier; segundo, es importante mostrar que el modelo no tiene variables innecesarias, en particular es posible pensar en la reducción de las variables  $K$  y  $\kappa$  a una variable  $\Delta$  que sea la diferencia de las dos, además es importante descubrir si para las variables del modelo existen transiciones de fase, es decir subconjuntos

del dominio para los cuales la variable no sufra cambios bruscos en su comportamiento acompañadas de puntos de quiebre en los que la variable cambia su comportamiento de forma brusca.

Así mismo, un aspecto que enriquecería la discusión pero que desborda el análisis actual, es la inclusión de la etapa previa en la cual el agente decide o no ingresar a la actividad ilícita. Este enfoque podría ser analizado en subsiguientes aproximaciones al problema.

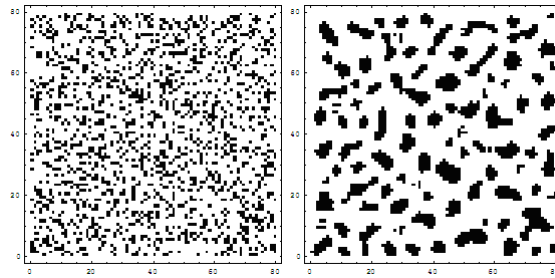
## Referencias

- Albino, V., Carbonara, N. & Giannoccaro, I. (2006), 'Innovation in Industrial Districts: an Agent-Based Simulation Model', *International Journal of Production Economics* **104**, 30–45.
- Arce, M. & Reales, L. (2006), 'Violencia Política, Asistencia Militar de Estados Unidos y Producción de Coca en los Andes', *Revista de Ciencia Política* **25**(1).
- Becker, C. (1968), 'Crime and punishment: An economic approach', *The Journal of Political Economy* **76**(2).
- Brenner, T. (2001), 'Simulating the Evolution of Localized Industrial Clusters – an Identification of the Basic Mechanisms', *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* **4**(3). <<http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/4/3/4.html>>.
- Comim, F. (2000), 'The Santa Fe Approach to Complexity: a Marshallian Evaluation', *Structural Change and Economic Dynamics* **11**, 25–43.
- Díaz, A. & Sánchez, F. (2004), 'A geography of illicit crops (coca leaf) and armed conflict in Colombia', *Documentos CEDE, Universidad de los Andes*.
- Ehrlich, I. (1996), 'Crime, punishment and the market of offenses', *The Journal of Economic Perspectives* **10**(1).
- Elster, J. (1989), 'Social norms and economic theory', *The Journal of Economic Perspectives* **3**(4).
- Glaeser, E., Sacerdote, B. & Scheinkman, J. (1996), 'Crime and social interactions', *The Quarterly Journal of Economics* **111**(2).
- Grossman, H. & Mejía, D. (2007), 'The war against drug producers', *Economics of Governance*.
- Hausman, D. (1993), 'Taking ethics seriously: Economics and contemporary moral philosophy', *Journal of Economic Literature* **31**(2).
- Ibañez, M. (2007), 'Who crops coca and why? the case of Colombia farmers', *Working Paper: Department of Economic, Göteborg University, Suecia*.
- Jaramillo, J., Mora, L. & Cubides, F. (1989), *Colonización coca y guerrilla*, Alianza Editorial Colombiana.
- Molano, A. (2001), *Aguas arriba: entre la coca y el oro*, El Áncora Editores.

- Porter, M. (1998), 'Clusters and the New Economics of Competition', *Harvard Business Review* **76**, 77-90.
- Thoumi, F. (1992), 'Why the illegal drugs industry grew in Colombia', *Journal of international Studies and World Affairs* **34**(3), 37-63.
- Thoumi, F. (2002), *El imperio de la droga: Narcotráfico, Economía y Sociedad en los Andes*, IEPRI y Editorial Planeta.
- Thoumi, F. & Navarrete-Frías, C. (2006), *Winning Battles and Losing Wars: Illicit Crop Eradication Experiences in Bolivia and Colombia*, The Senlis Council, chapter 2.
- UNODC (2007), *World Drug Report*, United Nations Office on Drugs and Crime.
- Uribe, S. (1997), *Los cultivos Ilícitos en Colombia*, PNUD, chapter Drogas Ilícitas en Colombia: su impacto económico, político y social, pp. 35-133.
- Vargas, R. (2003), *Drogas, conflicto armado y desarrollo alternativo*, Acción Andina Colombia.

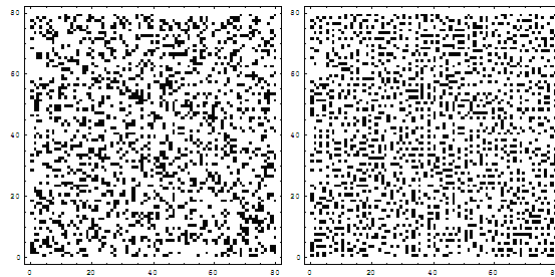
## A. Anexo

### A.1. Estados del mundo: Modelo de Agentes



(a) Inicial,  $\kappa = 5, K = 1$

(b) Final,  $\kappa = 5, K = 1$



(c) Inicial,  $\kappa = 1, K = 5$

(d) Final,  $\kappa = 1, K = 5$

Figura 14:  $dens = 0,25, M = 0$

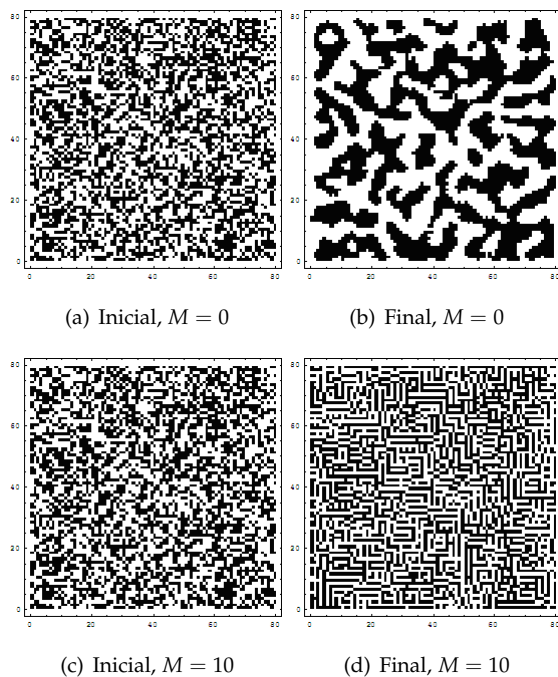


Figura 15:  $dens = 0,5, \kappa = 5, K = 1$

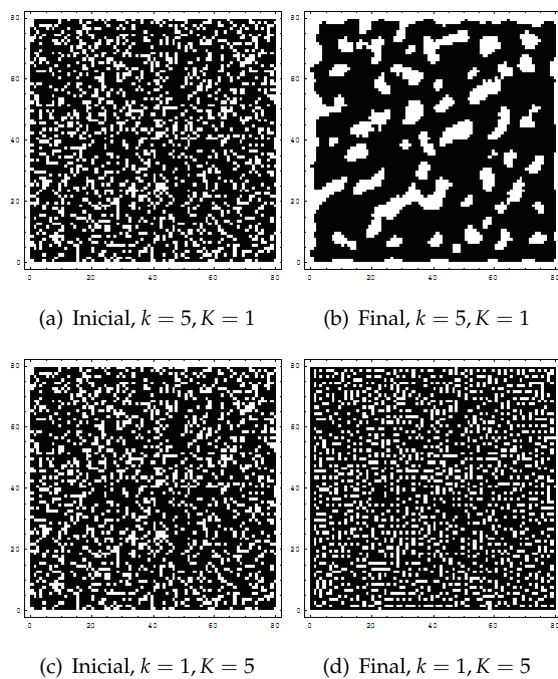


Figura 16:  $dens = 0,75, M = 0$



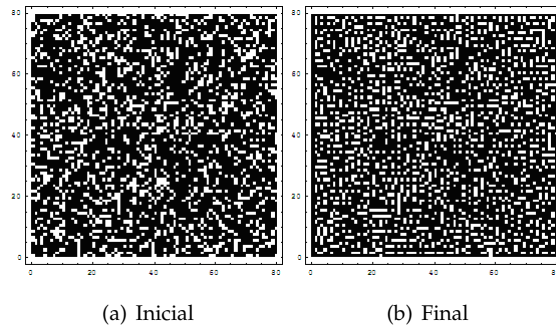


Figura 17:  $dens = 0,75, k = 5, K = 1, M = 7,5$

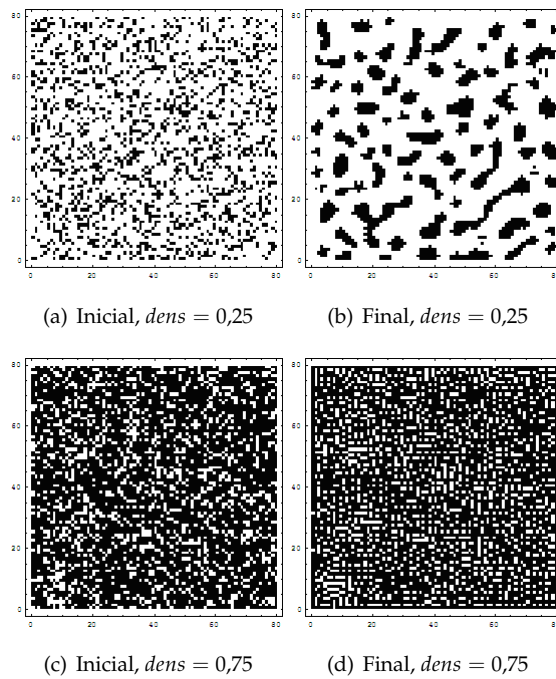


Figura 18:  $\kappa = 2, K = 1, M = 0,5$

## A.2. Pseudocódigo

En esta subsección se describe a grandes rasgos la programación utilizada para la construcción del modelo dirigido a agentes. Los parámetros utilizados para la ejecución del modelo corresponden a una matriz de distribución de agentes, denominada  $A$ , y la dimensión del área considerada ( $dim$ ). En el procedimiento de simulación se utilizaron una distribución aleatoria uniforme de los individuos en el terreno y una dimensión igual a 90 cuadros.

En cada iteración, el programa comienza haciendo uso del algoritmo A.3 para calcular el número de vecinos de cada posición dentro del área. Este procedimiento construye una matriz  $A'$ , de tamaño  $dim \times dim$ , que contiene en la posición  $(i, j)$  el número de individuos que se encuentran dentro la vecindad de Moore alrededor de la parcela  $(i, j)$ .<sup>17</sup>

Una vez construida la matriz  $A'$ , y haciendo uso de las definiciones presentadas en la subsección anterior, se calculan las probabilidades objetivas (algoritmo A.4) y el costo (algoritmo A.5) para cada una de las posiciones dentro del área considerada.

Al final de cada iteración se construye una matriz de pagos para cada cuadro dentro del área (algoritmo A.6) y se aplica el criterio de decisión (algoritmo A.7). Como resultado de este último procedimiento se obtiene una nueva matriz que contiene las nuevas posiciones de los individuos.

Este procedimiento se repite sucesivamente hasta que se alcanza un estado estacionario en la

---

<sup>17</sup> La vecindad de Moore corresponde a las 8 posiciones adyacentes a la posición  $(i, j)$  (Norte, Noreste, Este, Sureste, Sur, Suroeste, Oeste y Noroeste).

proporción de cultivadores que continúan moviéndose.

**Algorithm A.1:** CONTARVECINOS(List  $A$ , int  $dim$ , int  $i$ , int  $j$ )

**local** List  $vecinos$ , int  $total$

**if**  $i = 1$  **and**  $j = 1$

**then**  $\begin{cases} vecinos[5] = a[i, j + 1]; \\ vecinos[7] = a[i + 1, j]; \\ vecinos[8] = a[i + 1, j + 1]; \end{cases}$

**else if**  $i = 1$  **and**  $j = dim$

**then**  $\begin{cases} vecinos[4] = a[i, j - 1]; \\ vecinos[6] = a[i + 1, j - 1]; \\ vecinos[7] = a[i + 1, j]; \end{cases}$

**else if**  $i = dim$  **and**  $j = 1$

**then**  $\begin{cases} vecinos[2] = a[i - 1, j]; \\ vecinos[3] = a[i - 1, j + 1]; \\ vecinos[5] = a[i, j + 1]; \end{cases}$

**else if**  $i = dim$  **and**  $j = dim$

**then**  $\begin{cases} vecinos[1] = a[i - 1, j - 1]; \\ vecinos[2] = a[i - 1, j]; \\ vecinos[4] = a[i, j - 1]; \end{cases}$

**else if**  $i = 1$  **and**  $1 < j < dim$

**then**  $\begin{cases} vecinos[4] = a[i, j - 1]; \\ vecinos[5] = a[i, j + 1]; \\ vecinos[6] = a[i + 1, j - 1]; \\ vecinos[7] = a[i + 1, j]; \\ vecinos[8] = a[i + 1, j + 1]; \end{cases}$

**else if**  $i = dim$  **and**  $1 < j < dim$

**then**  $\begin{cases} vecinos[1] = a[i - 1, j - 1]; \\ vecinos[2] = a[i - 1, j]; \\ vecinos[3] = a[i - 1, j + 1]; \\ vecinos[4] = a[i, j - 1]; \\ vecinos[5] = a[i, j + 1]; \end{cases}$

**else if**  $1 < i < dim$  **and**  $j = 1$

```

    then {
      vecinos[2] = a[i - 1, j];
      vecinos[3] = a[i - 1, j + 1];
      vecinos[5] = a[i, j + 1];
      vecinos[7] = a[i + 1, j];
      vecinos[8] = a[i + 1, j + 1];
    }
  else if 1 < i < dim and j = dim
    then {
      vecinos[1] = a[i - 1, j - 1];
      vecinos[2] = a[i - 1, j];
      vecinos[4] = a[i, j - 1];
      vecinos[6] = a[i + 1, j - 1];
      vecinos[7] = a[i + 1, j];
    }
  else
    then {
      vecinos[1] = a[i - 1, j - 1];
      vecinos[2] = a[i - 1, j];
      vecinos[3] = a[i - 1, j + 1];
      vecinos[4] = a[i, j - 1];
      vecinos[5] = a[i, j + 1];
      vecinos[6] = a[i + 1, j - 1];
      vecinos[7] = a[i + 1, j];
      vecinos[8] = a[i + 1, j + 1];
    }

```

*total* = sum[vecinos];

return (*total*)

**Algorithm A.3:** A PRIMAMUNDO(List *A*, int *dim*)

local List *A'*

for each  $a_{i,j} \in A$

do  $A'[i, j] = \text{CONTARVECINOS}(A, \text{dim}, i, j)$

return (*A'*)

**Algorithm A.4:** CALCULOPROBABILIDAD(List *A'*)

local int *Area*, int *AgentNum*, List *P*

*Area* =  $\text{dim}^2$ ;

*AgentNum* = count  $a \in A$ ;

$P[i, j] = \frac{A'[i, j] + 1}{\text{Area} - (\text{AgentNum} - (A'[i, j] + 1))}$

return (*P*);

**Algorithm A.5:** CALCULOCOSTO(List  $A'$ , real  $k$ , real  $K$ )

**local** List  $C$

$$C[i, j] = k - \frac{A'[i, j]}{AgentNum}(k - K)$$

**Algorithm A.6:** CALCULOPI(List  $P$ , List  $C$ , real  $M$ )

**local** List  $\Pi$ ;

$$\Pi[i, j] = M * P[i, j] + C[i, j];$$

**return** ( $\Pi$ )

**Algorithm A.7:** ESCOGERM0(List  $A$ , List  $\Pi$ )

**local** real  $min$ , real  $posMin$

**for each**  $a_{i,j} \in A$

**do**  $\left\{ \begin{array}{l} min = Min[\Pi[vecinos[i, j]]] \\ posMin = Position[min, \Pi[vecinos[i, j]]] \\ Anew[vecinos[posMin]] = 1 \end{array} \right.$

**return** ( $Anew$ )