

4.22. COMUNICACIÓN BREVE 22

Un modelo matemático para el negocio de los cultivos ilícitos

Alvaro Raúl Córdoba Belalcazar.

arcordoba@iucesmag.edu.co Institución Universitaria CESMAG.

Resumen.

En esta investigación se plantea un modelo matemático que representa la dinámica entre la población humana y el recurso natural *erythroxylum coca* mediante un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales, utilizando para la construcción del modelo la dinámica de sistemas. Se presentan simulaciones en las que se analiza el comportamiento del control gubernamental en la erradicación, concluyendo que es la causa del desplazamiento de la población que participa en el negocio de la coca.

Palabras claves. *Sistema dinámico, dinámica de sistemas, bucle de realimentación y diagrama de niveles y flujos.*

1. Presentación del problema.

El negocio de los cultivos ilícitos es una de las más importantes problemáticas en Colombia. Sus efectos sociales, económicos y ambientales, forman parte de la agenda política nacional y de las naciones que se ven afectadas.

Desde comienzos de los años 80 se fue conformando en Colombia un sector de la economía ilegal basada en los cultivos ilícitos, en particular en el departamento del Putumayo, el cultivo de hoja de coca se inscribe como parte de un proceso histórico, caracterizado por la dinámica económica de apropiación selectiva de recursos naturales a través de sistemas de bajo costo, para beneficio de grupos ajenos a la región (Ramírez. 2001) , de esta manera se empieza a cultivar la hoja de coca, la rentabilidad de este negocio atrae personas ajenas a la región, es decir, se presenta inmigración, estas personas junto con las de la región gran mayoría se dedican al cultivo y cosecha, un pequeño grupo a la elaboración de la pasta o base. La economía del dinero fácil, crea en la región una problemática y a raíz de esto grupos al margen de la ley se apoderan de los territorios cultivados para sacar fruto de este negocio, causando en la región el incremento de la tasa de homicidio; para contrarrestar esto el gobierno crea el plan de política antidrogas y viene la aspersión de herbicidas sobre el follaje de los cultivos, cambiando la dinámica de la población, ahora las personas que inmigraron emigran y la economía de la región decrece, porque la mayor parte de las personas estaban dedicadas a este negocio. Así, la problemática de los cultivos ilícitos es un círculo vicioso que se presenta en determinado tiempo en regiones diferentes del país; por esta razón es pertinente e importante plantear un modelo matemático que explique la dinámica entre la población humana y este recurso natural que permita la toma de decisiones y plantear políticas gubernamentales para controlar esta problemática.

2. Marco de referencia conceptual.

El planteamiento del modelo matemático se hace usando Dinámica de Sistemas, esta técnica fue desarrollada por el profesor Jay Forrester en la década de los 50's en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Esta metodología se basa en la construcción de sistemas mediante grafos dirigidos bivaluados llamados bucles de realimentación, que pueden ser transformados en representaciones denominadas diagramas de niveles y flujos (García. 2017), por medio de los cuales se obtiene un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden dependientes del tiempo, con las que se dice haber obtenido el modelo matemático del sistema que se estudia.

3. Metodología.

La problemática del negocio de los cultivos ilícitos es analizada sistémicamente utilizando la Dinámica de Sistemas, se plantea el diagrama causal. El conjunto de relaciones entre los atributos del sistema es representado mediante un bucle de realimentación positiva y dos bucles de realimentación negativa para formular el diagrama de niveles y flujos representado en la **Figura 1**. Para nuestro modelo, las variables de estado son las hectáreas de coca cultivada R y la población P . De este modo, y siguiendo el diagrama de niveles y flujos las ecuaciones de nivel están dadas por:

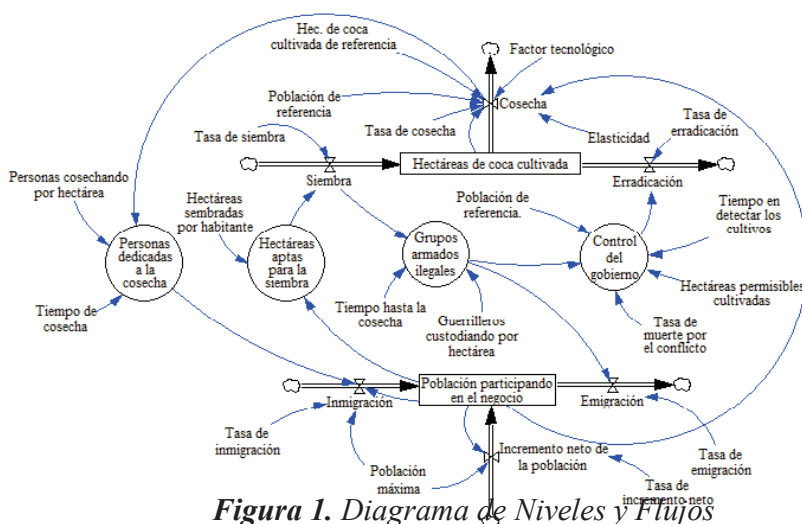


Figura 1. Diagrama de Niveles y Flujos

$$\frac{dR}{dt} = S - C - E_r, \quad \frac{dP}{dt} = I + N - E$$

Donde, S es la siembra, C es la cosecha, E_r es la erradicación, I es la inmigración, N es el incremento neto de la población y E es la emigración. Se definen las funciones para los flujos y las ecuaciones auxiliares sistema y se obtiene el sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales.

$$\frac{dR}{dt} = \alpha b P - \beta f \frac{R^\delta}{\bar{R}} \cdot \frac{P^{1-\delta}}{\bar{P}} - \theta \lambda e l n d a b P$$

$$\frac{dP}{dt} = \left(\phi a m \beta f \frac{R^\delta}{\bar{R}} \cdot \frac{P^{1-\delta}}{\bar{P}} + \gamma P \right) \left(1 - \frac{P}{K} \right) - \varphi n d a b P$$

Donde, α representa la tasa de siembra, b las hectáreas sembradas por habitante, β la tasa de cosecha, f el factor tecnológico, δ un factor adimensional de productividad, \bar{R} las hectáreas de coca cultivada de referencia, \bar{P} la población de referencia, θ la tasa de erradicación, λ la tasa de muerte por el conflicto, e el tiempo en detectar los cultivos, l las hectáreas permisibles cultivadas n , el tiempo hasta la cosecha d , los guerrilleros custodiando por hectárea, ϕ la tasa de inmigración, a las personas cosechando por hectárea, m el tiempo de cosecha, γ la tasa de incremento neto de la población, K la capacidad de soporte de la población y φ la tasa de emigración.

4. Análisis de datos.

La simulación del modelo fue elaborada con el software Vensim, los valores de los parámetros se estimaron de los censos hechos en Colombia con el apoyo de distintas entidades gubernamentales como: La Dirección Nacional de Estupefacientes (DNE), La Policía Antinarcoóticos de Colombia (DIRAN), Oficina

de Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC), Programa de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (PMCI), Sistema Integrado de Monitoreo de Cultivos Ilícitos (SIMCI) entre otras. Los valores de parámetros demográficos son tomados del censo hecho por el DANE.

En la **Figura 2a** se observa la evolución de las variables de estado del sistema sin tener en cuenta la erradicación. En ella se observa que al transcurrir el tiempo tanto la población como los recursos crecen de manera natural.

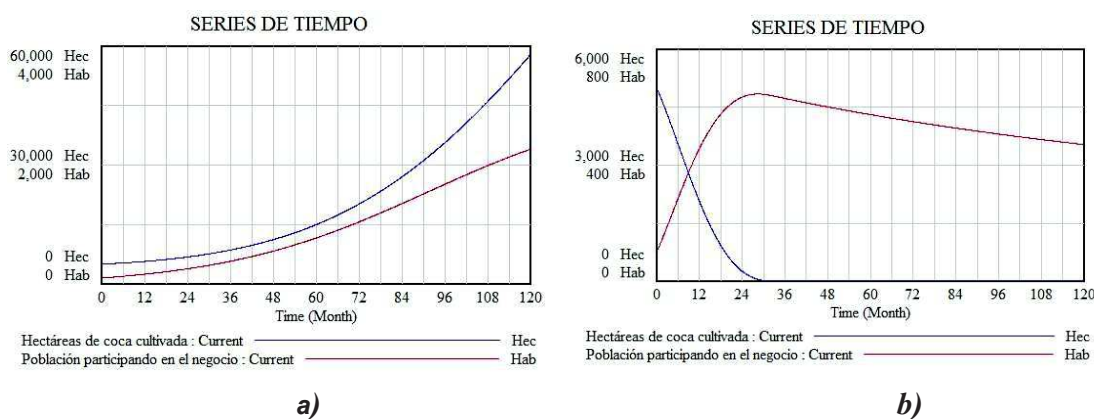


Figura 3. Evolución de las variables de estado

En la **Figura 2b** se observa la evolución de las variables de estado teniendo en cuenta la erradicación. Esta política hace que el recurso reduzca exponencialmente hasta desaparecer mientras que la población crece. Sin embargo, cuando el recurso se extingue la población empieza a decrecer.

5. Conclusiones.

Se formula un modelo matemático con la ayuda de la dinámica de sistemas, teniendo en cuenta los factores y actores más relevantes involucrados en el conflicto de los cultivos ilícitos, el sistema de ecuaciones diferenciales obtenido será un punto de partida para un estudio más profundo de esta problemática desde la perspectiva de los sistemas dinámicos.

Las simulaciones numéricas muestran que si no hay erradicación de los cultivos ilícitos, la población crece naturalmente hasta su capacidad de soporte y el recurso natural *Erythroxylum coca* lo hace hasta que se erradique (ver Figura 2a).

La erradicación cambia la dinámica del sistema, puesto que no es posible acabar de manera inmediata el recurso natural, entonces la población crecerá, es decir, la existencia de cultivos ilícitos es causa de inmigración hasta que el recurso se agote y la inexistencia del cultivo implica decrecimiento de la población, es decir, hay emigración (ver Figura 2b).

Los resultados numéricos corresponden a la dinámica real de esta problemática.

Bibliografía.

García, J. M. (2017). *Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas: para Vensim PLE*. Juan Martín García.

Ramírez, M. C. (2001). *Entre el estado y la guerrilla: identidad y ciudadanía en el movimiento de los campesinos cocaleros del Putumayo*. Instituto Colombiano de Antropología e Historia, Colciencias.

Flórez, G. R. (2005). Los desafíos del Estado en Putumayo. *Revista Foro*, (55), 79-87.

Vargas Manrique, C. E. (2004). Cultivos ilícitos y erradicación forzosa en Colombia. *Cuadernos de Economía*, 23(41), 109-141.

Las Drogas, I. M. S. (2013). Naciones Unidas. Oficina contra la Droga y el Delito.

Ceballos, M. (2003). Plan Colombia: Contraproductos y Crisis Humanitaria. Fumigaciones y desplazamiento en la frontera con Ecuador. *Bogotá: codhes*.

Vargas, R. (1999). *Fumigación y Conflicto: políticas antidrogas y deslegitimación del Estado en Colombia*. Transnational Institute.

DANE, Conciliación Censal 1985-2005 y Proyecciones de Población 2005-2020.

Wiggins, S. (1990). Springer-Verlag (Ed.): *Introduction to Applied Non Linear Dynamical Systems and Chaos*. New York.