



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA  
ESCUELA DE POSGRADO

Capacidad de carga de poblaciones humanas en territorios rurales

por

Jean Pierre Morales Aymerich

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado  
como requisito para optar por el grado de

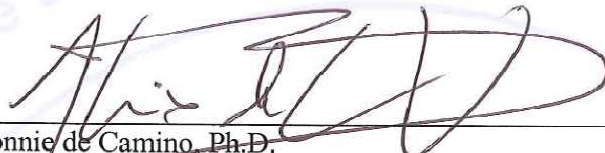
*Magister Scientiae* en Socioeconomía Ambiental

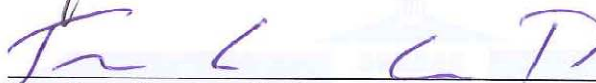
Turrialba, Costa Rica, 2011


Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

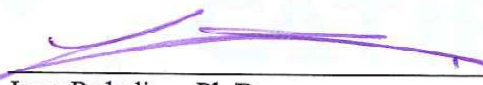
**MAGISTER SCIENTIAE EN SOCIECONOMÍA AMBIENTAL**


**FIRMANTES:**


  
\_\_\_\_\_  
Ronnie de Camino, Ph.D.  
**Consejero Principal**


  
\_\_\_\_\_  
Tomás de Camino, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**


  
\_\_\_\_\_  
Fabrice De Clerck, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**

  
\_\_\_\_\_  
Juan Robalino, Ph.D.  
**Miembro Comité Consejero**

  
\_\_\_\_\_  
Raffaele Vignola, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**

  
\_\_\_\_\_  
José O. Rivera, M.Sc.  
**Coordinador, Especialización en Práctica para el Desarrollo**

  
\_\_\_\_\_  
Glenn Galloway, Ph.D.  
**Decano de la Escuela de Posgrado**

  
\_\_\_\_\_  
Jean-Pierre Morales Aymerich  
**Candidato**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación se lo dedico a todas aquellas personas que creyeron en mí y que me han apoyado en el transcurso de estos dos años en el CATIE, son muchas y cada una ha aportado de diferentes maneras a la realización de esta tesis.

A mi hija especialmente que fue la persona que en menor grado sabía lo que su papá estaba realizando en Turrialba, pero que a la vez fue la que me dio más fuerzas para continuar en esta aventura.

A mi madre que siempre ha estado ahí para escucharme y ha sido mi compañera incondicional en todos los acontecimientos de mi vida sean estos profesionales, académicos o de otra índole.

De igual manera, también dedico este esfuerzo a los compañeros del CATIE en especial a Susan Butrón, Gabriela Villamagua, Priscila Prado y Carolina Polania, que siempre estuvieron ahí para escucharme tanto en los buenos como en los malos rato donde fueron más necesarias y fue cuando más conté con su compañía y sabios consejos.

A Leonardo Guerra amigo por excelencia, consejero y hermano que siempre me escuchó y ayudó en este proceso de más de un año.

En fin, dedico este esfuerzo a todas las estas personas que hoy menciono y a las que no mencioné espero que sepan que también fueron importantes en este proceso, gracias a todos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi profesor consejero Ronnie De Camino, quien creyó en mí para realizar esta investigación la cual fue un reto tanto para mí como para él. Asimismo para el comité consejero que se involucró en el desarrollo de la tesis.

De igual manera, es importante que agradezca a las personas a las que les dediqué esta tesis.

## **BIOGRAFÍA**

El autor nació en Costa Rica el primero de marzo de 1979. Se graduó en la Universidad de Latina de Costa Rica como Licenciado en Economía en el 2007 en la Facultad de Ciencias Económicas. Inicio su experiencia laboral en el 2006 en el Ministerio de Hacienda en el despacho del Ministro en el CONAFIN, en el 2007 se trasladó al departamento de Análisis y Políticas de Endeudamiento en la Tesorería Nacional donde laboró hasta el 15 de enero del 2009, año en el cual inició su Maestría en Socioeconomía Ambiental en el CATIE.

# CONTENIDO

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
BIOGRAFÍA.....	V
CONTENIDO.....	VI
RESUMEN.....	VIII
SUMMARY.....	IX
ÍNDICE DE FÓRMULAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE CUADROS.....	XIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos del estudio.....	2
1.1.1 <i>Objetivo general</i> .....	2
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	2
1.2 Preguntas de la investigación.....	2
2 ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN I.....	3
2.1 Introducción.....	3
2.1.1 <i>Enfoques de capacidad de carga</i> .....	5
2.1.2 <i>La capacidad de carga en la ecología</i> .....	5
2.1.3 <i>La capacidad de carga para poblaciones humanas</i> .....	6
2.1.4 <i>Conclusiones</i> .....	16
2.1.5 <i>Bibliografía</i> .....	18
3 ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN II.....	19
3.1 Introducción.....	19
3.2 Modelaje.....	21
3.2.1 <i>Modelos</i> .....	25
3.2.2 <i>Modelo I</i> .....	30
3.3 Modelo II.....	40

3.3.1	<i>Modelo III</i> .....	47
3.3.2	<i>Propósito del modelo</i> .....	53
3.3.3	<i>Limites del modelo</i> .....	54
3.4	Conclusiones .....	54
3.5	Bibliografía .....	57
4	ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN III .....	59
4.1	Introducción .....	59
4.2	Implicaciones de política .....	59
4.2.1	<i>Simulaciones</i> .....	60
4.3	Conclusiones .....	69
4.4	Bibliografía .....	71
5	Análisis de las implicaciones de los resultados de la Tesis para el desarrollo desde una perspectiva integral y multidisciplinaria .....	72
6	Análisis del potencial de los resultados para la formación de políticas .....	75
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	76
7.1	Conclusiones .....	76
7.2	Recomendaciones .....	77
	ANEXOS .....	78

## RESUMEN

La intención de la presente investigación es generar una visión alternativa de capacidad de carga para poblaciones humanas en zonas rurales, tomando como punto de partida que no solo la tierra si no también el resto de elementos como los sociales, humanos, económicos y naturales. Para lograr el propósito planteado a nivel conceptual se va a utilizar la teoría de los capitales y medios de vida de la comunidad por ser un enfoque sistémico.

La concepción de capacidad de carga es una definición cuantitativa, es por ello que se van a utilizar modelos dinámicos para formalizar la redefinición que busca esta investigación. Del proceso de modelaje se concluyó que la concepción se definiría como un punto de equilibrio de un sistema dinámico, el cual es el resultado de la interacción de los subsistemas los cuales son los capitales de los medios de vida de la comunidad.

Esta investigación se conforma por tres artículos el primero es una recopilación bibliográfica de los diferentes enfoques sobre el tema, el segundo es la definición del concepto alternativo de la capacidad de carga y el tercero es una modelación para evaluar los efectos de las intervenciones sobre los subsistemas los cambios en el equilibrio y las posibles implicaciones políticas de estas pruebas.

**Palabras claves:** Ecuaciones diferenciales, equilibrio, capacidad carga



## SUMMARY

The propose of this research is to generate an alternative theoretical vision of carrying capacity for human populations in rural areas, taking as its starting point not only land but also the other elements such as social, human, economic, and natural. In order to achieve the intended purpose, the theory of capital and livelihood of the communities will be used as a systemic approach.

The concept of carrying capacity is a quantitative definition, because of that it is going to use dynamic models to formalize the redefinition sought this research. Modeling process concluded that the concept is defined as a point of equilibrium of a dynamic system, which is the result of interaction of subsystems which are the capitals of the community.

This study consists of three articles the first is a review paper of the different approach to the subject, the second is the alternative definition of carrying capacity and the third is a modeling to evaluate the effects of interventions on the subsystems changes in the balance and the possible political implications of these tests.

**Key words:** differential equations, equilibrium, carrying capacity

## ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula 1. Función logística de crecimiento poblacional.....	6
Fórmula 2. Función logística Lotka.....	11
Fórmula 3. Ecuación del capital social, primer modelo .....	29
Fórmula 4. Ecuación del capital financiero, primer modelo .....	31
Fórmula 5. Ecuación del capital social, primer modelo .....	32
Fórmula 6. Traza resultante de la matriz jacobiana del primer modelo .....	38
Fórmula 7. Determinante producto de la matriz jacobiana, primer modelo.....	38
Fórmula 8. Ecuación del capital financiero modelo de tres dimensiones.....	41
Fórmula 9. Ecuación del capital social modelo de tres dimensiones .....	42
Fórmula 10. Ecuación del capital humano modelo de tres dimensiones.....	43
Fórmula 11. Polinomio característico del primer equilibrio.....	46
Fórmula 12. Polinomio característico del segundo equilibrio .....	46
Fórmula 13. Ecuación capital financiero .....	48
Fórmula 14. Ecuación capital social.....	49
Fórmula 15. Ecuación capital humano .....	50
Fórmula 16. Ecuación capital natural .....	51
Fórmula 17. Ecuación capital social con el efecto de una política periódica.....	60
Fórmula 18. Ecuación capital social con un cambio estructural .....	62
Fórmula 19. Ecuación capital financiero con una política .....	64
Fórmula 20. Ecuación capital social con una política .....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas de crecimiento.....	5
Figura 2. Relación daño ambiental consumo.....	13
Figura 3. Tipos de equilibrio. ....	28
Figura 4. Puntos de estabilidad donde el eje “y” es la traza ( $\tau$ ) y el “x” es el determinante ( $\Delta$ ). Fuente: Strogatz 1994 .....	29
Figura 5. Diagrama causa efecto, capital financiero (E), capital social (S) y capital inducido (Ce). 30	
Figura 6. Gráfico de la función del capital financiero.....	31
Figura 7. Gráfico de la función del capital social.....	33
Figura 8. Marco conceptual para entender la relación entre pobreza y biodiversidad en sistemas de producción basados en los recursos naturales a escala subnacional. Fuente: Tekelenburg 2009. ....	36
Figura 9. Traza del primer modelo. ....	38
Figura 10. Determinante del primer modelo.....	38
Figura 11. Diagrama de fase del capital social y el financiero.....	39
Figura 12. Diagrama causa efecto modelo con tres capitales financiero (E), social(S) y humano (H).....	40
Figura 13. Gráfico capital financiero.....	42
Figura 14. Gráfico capital social.....	43
Figura 15. Gráfico capital humano. ....	44
Figura 16. Gráfico ilustrativo del equilibrio del modelo 2. ....	47
Figura 17. Gráfico causa efecto, capital financiero (E), capital natural (N), capital social (S), capital humano (H). ....	47
Figura 18. Gráfico capital financiero.....	49
Figura 19. Gráfico capital social.....	50
Figura 20. Gráfico capital humano. ....	51
Figura 21. Gráfico capital natural.....	52
Figura 22. Gráfico del capital social con la intervención de la política y sin ella. ....	61

Figura 23. Gráfico del equilibrio del modelo1 donde se muestra el efecto de la una política sobre el capital social. ....	62
Figura 24. Gráfico del capital social con un cambio estructural. ....	63
Figura 25. Gráfico del equilibrio del primer modelo con cambio estructural. ....	63
Figura 26. Gráfico del capital social con política simultanea en el capital financiero. ....	65
Figura 27. Gráfico del capital financiero con política simultanea en el capital social. ....	65
Figura 28. Gráfico del equilibrio con el efecto de las políticas simultáneas y sin política. ...	66
Figura 29. Gráfico del capital social con impacto inducido. ....	67
Figura 30. Gráfico del capital financiero con el efecto de un impacto en el capital social. ...	67
Figura 31. Gráfico del comportamiento del equilibrio ante un impacto, sin el impacto en líneas discontinuas. ....	68

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Parámetros son los elementos básicos que conforman los capitales los signos indican la relación con el capital que componen y la relación con los demás.....	24
Cuadro 2. Clasificación de los equilibrios del primer modelo.....	37
Cuadro 3. Clasificación de los equilibrios del modelo de tres dimensiones.....	46

# 1 INTRODUCCIÓN

Los enfoques actuales de capacidad de carga para el autor de esta investigación tienen una serie de falencias que se tratarán de explicar en el artículo número uno de este documento, es por esto que este estudio quiere plantear una visión diferente del concepto.

Es por esto, que surge la necesidad de definir el marco ideológico que va ser a manera de idea guía para el desarrollo del modelo. En De Camino y Galvao (s.f), se discute sobre que el manejo integrado y sostenible de los recursos naturales y la agricultura en un espacio geográfico determinado se refiere al uso de los recursos biofísicos, económicos y sociales según su capacidad, para mediante tecnologías biofísicas, económicas, sociales e institucionales, obtener bienes y servicios directos e indirectos de los recursos naturales y la agricultura para satisfacer las necesidades de las generaciones presentes y futuras.

En vista de lo anterior, brota la pregunta de ¿Cual es la especie que con mayor fuerza influye en medio en el que habita? Sin temor a equivocarse la respuesta es el ser humano, esta es la especie que decide qué tipo de uso le da al ambiente que lo rodea. Es por esto que es necesario que la capacidad de carga tome cuenta al ser humano. En el informe de Desarrollo Humano (1990), aparece la definición de “desarrollo humano” concebido como un proceso en el cual se amplían las oportunidades del ser humano, destacando la idea de que en principio estas oportunidades pueden ser infinitas y cambiar con el tiempo, colocando en el punto de mira, tres oportunidades esenciales, entre ellas: disfrutar de una vida prolongada y saludable, adquirir conocimientos y tener acceso a los recursos necesarios para lograr un nivel de vida decente.

Esto nos lleva a pensar que la propuesta de capacidad de carga, debe partir desde la concepción del ser humano como motor a la vez que objeto del desarrollo, involucrándolo en la posibilidad y necesidad de participar activamente como sujeto de transformación, en los procesos de ampliación de sus propias oportunidades en distintas esferas: ingreso, conocimientos, vida prolongada, libertad, seguridad personal, participación comunitaria y derechos fundamentales.

## **1.1 Objetivos del estudio**

### ***1.1.1 Objetivo general***

Desarrollar un concepto alternativo de capacidad de carga con una visión antropocéntrica, que tome en cuenta las diferentes interacciones de los capitales de la comunidad que se presentan en un territorio, basado en conceptos de desarrollo humano sostenible, con la finalidad que rompa con la habitual concepción de personas por hectárea donde solo se consideran el componente biofísico, las posibilidades de productividad del mismo y si el área está sobre poblada o no.

### ***1.1.2 Objetivos específicos***

- Realizar una revisión bibliográfica sobre los distintos abordajes del tema de capacidad de carga.
- Conceptualizar el modelo de capacidad de carga a proponer en la investigación.
- Formalizar el modelo matemáticamente con el uso de ecuaciones diferenciales.
- Realizar simulaciones del modelo, sensibilidad ante perturbaciones y cambios de comportamiento.

## **1.2 Preguntas de la investigación**

¿Qué elementos relevantes para la generación de un nuevo concepto pueden aportar las definiciones actuales de capacidad de carga?

¿Qué diferencias fundamentales debería presentar una conceptualización de la definición alternativa de capacidad de carga respecto a las actuales?

¿Por qué utilizar la matemática para la formalización del concepto alternativo?

¿Qué aspectos deberían mostrar las simulaciones respecto a la definición planteada en la investigación?

## 2 ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN I

### Conceptos de capacidad de carga

#### 2.1 Introducción

Los científicos han desarrollado una serie de formas de calcular la capacidad de carga tales como: en la gestión de especies, química, medicina, economía, antropología, ingeniería y poblaciones biológicas, no obstante, se puede realizar una clasificación de los usos frecuentes de esta concepción (Sayre 2008):

- En la ingeniería mecánica como un atributo en la manufactura de objetos o sistemas, su utilización inicio en 1840 en el contexto de los envíos internacionales de materias.
- Asimismo, como cualidad de los seres vivos y los sistemas naturales, su uso de data de 1870 y proliferando en el siglo 20 cuando la gestión de los territorios tomaba cada vez más auge.
- Por otra parte, aplicado como un límite intrínseco del crecimiento poblacional de los organismos denominado por la letra k.
- También, como el número de seres humanos que la tierra puede soportar

Willian y Mathis 2001 realizan una recopilación de las diferentes vertientes de la capacidad de carga de acuerdo con la evolución de la especie humana. De este concepto, existen relatos desde la tradición oral donde se mencionaba la relación entre los seres humanos y la Tierra, que se remontan miles de años atrás. Es muy probable que- Platón fuera el que proporciono el primer recuento escrito de la capacidad de carga humana, cuando declaró en sus Leyes, Libro V, que no se puede fijar un total adecuado para el número de ciudadanos sin considerar la tierra y los estados vecinos. La tierra tiene que tener bastante extensión para sostener de forma modesta, cómoda un cierto número de personas, y no se necesita ni un pie adicional.

Por otro lado, se puede rastrear la contabilidad ecológica alrededor de 1758 donde se realizaron los primeros intentos para tener la base para las evaluaciones de la capacidad de carga. En ese año, Francois Quesnay publicó su Tableau Economique, en el cual se discute la relación entre la productividad de los suelos y la creación de riqueza. Desde entonces, eruditos



han desarrollado enfoques conceptuales y procesos de contabilidad para analizar la relación entre los humanos y la naturaleza.

Algunos de ellos miraban hacia los flujos energéticos necesarios para sostener las actividades humanas. Por ejemplo, en 1865, el economista Stanley Jevons en su libro “La cuestión del carbón (The Coal Question)” analizó la importancia de los recursos energéticos para el funcionamiento económico del Reino Unido. A finales del siglo XIX, Serhii Podolinsky inició los estudios en el campo de la energía agrícola. En las décadas siguientes, eminentes físicos, como Rudolf Clausius, Ludwing Boltzmann y Federick Soddy (que más tarde recibió el Nobel) reflexionaron sobre las implicancias de la ley de entropía sobre el desarrollo económico. Alfred Lotka introdujo el análisis energético a la biología en la década del 20 y en los 70, el economista. Nicholas Georgescu-Roegen desafió la economía usando los principios de la termodinámica.

Los efectos de las demandas de los sistemas económicos sobre la capacidad de carga fue observado por Stanley Jevons en 1879 en su Ensayo sobre los Principios de Población y cómo afectan la Huella Ecológica (Essay on the Principles of Population as It Affects the Ecological Footprint), donde realiza una cuantificación de los diferentes medio de producción en los país del mundo como por el ejemplo la explotación de plata en Perú, la extensión del cultivo de algodón a tierras templadas.

En 1902, el físico Leopold Pfaunder computó la capacidad de carga mundial definiendo como límite superior de  $k$  la producción ecológica obteniendo como resultado que la tierra podría a soportar a 5 personas por hectárea, en Norte América, con William Vogt (1948) y Fairfield Osborn (1953), vuelve el interés académico en los temas atinentes a la capacidad de carga. George Borgstrom, en varias de sus publicaciones de los años 60 y principios de los '70, analizó el consumo de recursos en términos de “acres fantasmas” que se refería a la importación de capacidad de carga agrícola.

A inicios de la década de los 70s William Rees desarrolló la idea de “cápsula regional” que posteriormente se convirtió en el concepto de la Huella Ecológica. En 1980, William Catton añadió una nueva dimensión al debate de la capacidad de carga humana, con descripción de las implicancias de sobrepasarse (overshoot) o exceder temporalmente la capacidad de carga a largo plazo y el colapso consecutivo de la población. G. Higgins con sus colaboradores produjeron un informe técnico en 1983 para la Organización de Agricultura y Alimentación (FAO) de las Naciones Unidas, que analiza las capacidades de carga necesarias

para sostener las poblaciones de la mayoría de los países en vías de desarrollo. En 1985, Ragnar Overby, entonces en el Banco Mundial, propuso la comparación de las economías de acuerdo a sus demandas sobre la capacidad de carga, y en 1986 M.A. Harwell y T.C. Hutchinson analizaron la pérdida de capacidad de carga asociada a una guerra nuclear. Más recientemente (1993), los Amigos de la Tierra (Países Bajos) propusieron el concepto de “espacio ambiental” para ayudar a determinar qué parte de la capacidad productiva/asimiladora global correspondería a cada nación en términos equitativos.

### 2.1.1 Enfoques de capacidad de carga

### 2.1.2 La capacidad de carga en la ecología

Las poblaciones tienen patrones característicos de incremento que se incluyen en el concepto de formas de crecimiento poblacional. Para propósitos de comparación se han designado dos patrones básicos, las curvas de crecimientos con forma de J y S figura 1, los cuales se pueden combinar o modificar de varias formas de acuerdo a las singularidades de los diferentes organismos y ambientes. En las funciones con forma de J la densidad incrementa rápidamente de forma exponencial deteniéndose abruptamente cuando la resistencia del ambiente se convierte en un factor determinante (Odum 1959).

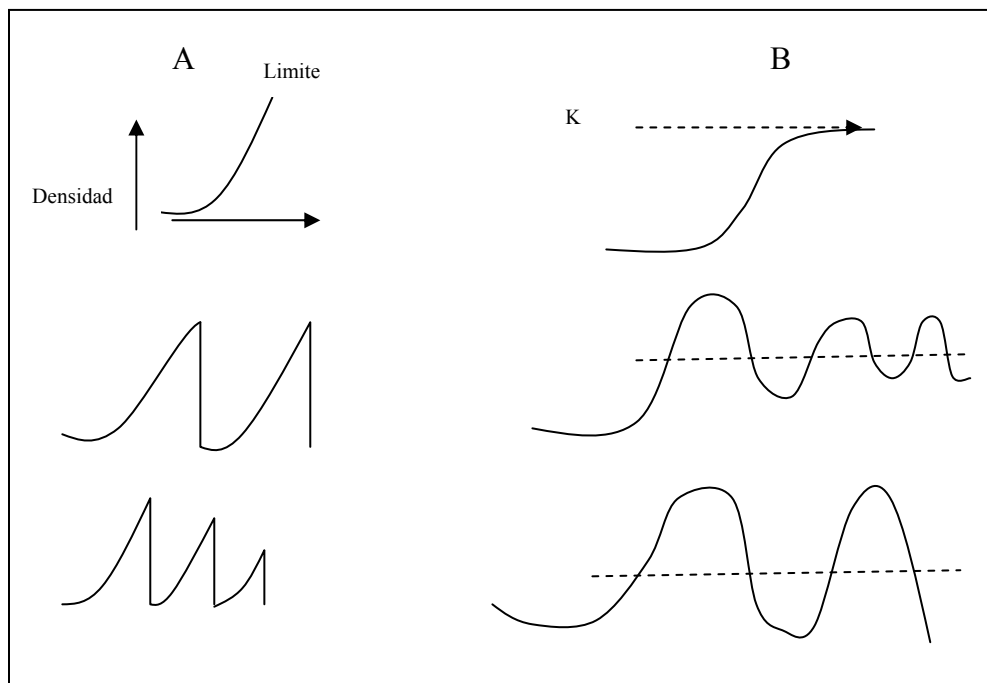


Figura 1. Curvas de crecimiento.

En la curva en forma de sigmoide (figura 1 B), la población crece despacio al principio (establecimiento o fase de aceleración positiva), luego se convierte en un crecimiento rápido (la fase logarítmica), no obstante, este crecimiento pierde velocidad gradualmente porque el coeficiente de resistencia del ambiente aumenta (la fase de aceleración negativa), hasta que se alcanza el nivel de equilibrio. Esta forma puede ser representada por el modelo logístico:

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = rN \frac{(K - N)}{K}$$

*Fórmula 1. Función logística de crecimiento poblacional*

De acuerdo con la fórmula 1 el nivel máximo, donde no puede ocurrir un incremento mayor, que es representado por la constante K, es la asíntota superior de la curva sigmoide que ha sido denominado capacidad de carga. En la curva en forma de J probablemente no existe un nivel de equilibrio, pero si un máximo representado por N que es el límite superior impuesto por el ambiente en figura 1 se la representación de cuando las funciones llegan a su punto máximo (Odum 1959).

Con base en lo anterior, el concepto de capacidad de carga es empleado para la gestión de hábitats particulares o ecosistemas como sabanas, bosques o especies animales y así como la gestión del turismo en reservas naturales (Seidl y Tsidell 1999).

Cuando se habla de capacidad de carga al menos se pueden distinguir 5 concepciones que existen en la ecología aplicada, cada cual persigue un objetivo diferente de gestión. Estos conceptos varían de acuerdo con el objetivo que se desea maximizar: (i) un rango existente de población, (ii) la tasa de crecimiento de equilibrio de una población, (iii) el número de individuos de la población que se deben a proteger, (iv) la población cosechada es descontada, (v) la población es un recurso de libre acceso, donde existen curvas de ingreso y costos (Cohen 1995).

### ***2.1.3 La capacidad de carga para poblaciones humanas***

#### **La capacidad de carga humana está determinada por la disponibilidad de alimento**

El postulado de que la disponibilidad de alimento es la mejor variable para contabilizar la capacidad de carga, requiere de la cuantificación de los datos de la producción alimenticia

que cubre la máxima población y el número de recursos individuales que pueden soportarlo (Hopfenberg 2003).

No obstante, en el artículo, “*how many people can the earth support*”, se provee una visión de la capacidad de carga relativa a la población humana. Esta puede ser definida en formas diferentes dependiendo de las variables que se consideran, tales como ecológicas, culturales, sociales, entre otras. Es así, que se pueden incluir la oferta de materiales como de alimento, vestido, agua y techo, otras pueden ser las limitaciones naturales como el clima. Las tasas de nacimientos, muertes y otros aspectos demográficos como la estructura familiar, estado civil y estatus migratorio. Es posible predecir las limitaciones futuras tales como inesperados cambios en el clima y las consecuencias impredecibles de la naturaleza humana, como la guerra (Cohen 1993).

Asimismo, autores como Peral *et al* 1920, Cohen 1995, Marchetti 1996; Meyer 1999, han demostrado que un simple modelo matemático de la relación entre la población y la capacidad de carga pueden ser acotadas por su tasa de crecimiento. Cohen 1995 propuso un modelo de la dinámica de la población humana con una capacidad de carga variable en que los cambios en el la capacidad de carga en sí son una función de población. En este modelo, los cambios en la población afectan la capacidad de carga que depende de los cambios en la cantidad de recursos, el potencial de los humanos y las características culturales. Similarmente, Meyer y Ausubel (1999) proponen un modelo biológico del crecimiento, el cual permite que el incremento de la capacidad de carga sea en forma de S, los autores plantean que las nuevas tecnologías afectan la forma en que los recursos son consumidos, lo cual cambia la capacidad de carga (Hopfenberg 2003).

En relación, al modelaje del crecimiento poblacional dentro de la dinámica de la capacidad de carga se propone que se utilice el modelo logístico debido a que es el que mejor se ajusta. Es así, que con esta ecuación se ajusta y se resume el curso de la inventiva y la exploración de la población humana, la tarea se convierte en entender que conjuntos y que tan rápido y lejos se incrementa la capacidad de carga, para tratar de estimar o anticipar nuevos niveles (Meyer y Ausubel 1999).

Varios autores Cohen 1995, Marchitti *et ál* 1996, Meyer y Ausubel 1999, han sugerido que las variables explícitamente identificadas y cuantificadas como responsables del crecimiento de la población son desconocidas o en el peor de los casos posiblemente inescrutables. Esto se puede interpretar como que el crecimiento de la población es intrínseco

a la especie humana y en consideración de los recursos, además las causas son raramente estudiadas. Adicionalmente, entender la dinámica de las poblaciones humanas enfatiza el hecho que la capacidad de carga provee un límite superior al tamaño de la población (Hopfenberg 2003).

Si la capacidad de carga se evalúa desde una perspectiva de uso de la tierra como por el ejemplo los sistemas de tumba y quema, podría ser medido de acuerdo a un número limitado de variables como: tierra disponible, requerimientos de tierra per-cápita, el número de años de barbecho, cantidad de años de productividad por terreno y la población (Brush 1975).

En relación al modelaje de la capacidad de carga, no existe acuerdo en cuál es el más apropiado. La atención ha sido puesta en los cambios tecnológicos, la cultura, la economía y otros factores propuestos como variables que son parte de este concepto. Los modelos donde se involucran nuevas tecnologías y recursos son las que tiene a relacionar el incremento de la disponibilidad de alimentos a los incrementos en la productividad de los cultivos así como otras innovaciones (Hopfenberg 2003).

En cuanto a lo relacionado, al efecto que tiene la tecnología sobre la capacidad de carga se menciona que está cambia de acuerdo a los cambios tecnológicos debido a los aumentos en la producción de alimentos, esto aunado a otros avances en el sector tiende a incrementar la disponibilidad de alimentos cambiando el límite superior de crecimiento poblacional. En síntesis, la importancia de la nueva tecnología es que puede ofrecer un incremento significativo de la eficiencia, no obstante, no es de esperarse que el efecto de esta tecnología se esparza instantáneamente, pero mientras es adoptada se observara una tasa de cambio (Meyer y Ausubel 1999).

### **Capacidad de carga, sobrepoblación y degradación ambiental**

La capacidad de carga para grupos humanos ha sido generalmente definida por los antropólogos como un balance entre la tierra y el hombre el cual es mantenido por las prácticas de las poblaciones de la zona como los métodos de producción tales como la explotación de tierras por lapsos de tiempo, para después dejarlas en recuperación y pasar a otras. Esta idea de un balance entre los recursos y las demandas del ser humano teóricamente podría ser aplicada a cualquier sistema tecnológico. Es más esta concepción está relacionada con la pregunta de ¿cuál es el óptimo de población? (Gottlieb 1945).

Hildyard (2003) crítica el concepto de sobrepoblación, que implica que un área tiene cierta capacidad de carga cercana a su límite o sobre este, puede refutarse por las razones siguientes:

- El número de personas que viven una parte del territorio depende de su cultura, la cual va a determinar sus necesidades y su forma de vida.
- El hecho de que los niveles de consumo y tecnología formen parte de cualquier discusión de capacidad de carga significa ninguna etnia social o nivel económico se pueden excluir de cuando se habla de sobre población
- La capacidad de carga para un área de tierra dada podría depender de lo que suceda fuera de sus límites: deforestación, precios globales de las materias primas (comodities), efecto invernadero, la lluvia acida, entre otros.
- De allí la importancia de plantear pronto la idea del modelo abierto. El límite de los modelos abiertos, es abrirlos hasta que sea un solo modelo de tamaño planetario, pero aún así, hay entradas y salidas desde y hacia afuera del planeta.

Los modelos de capacidad de carga que cuantifican cantidad de población tienen una carencia en su poder de explicación en cuanto a poder decir si la zona de estudio está sobrepoblada, esto porque este concepto no puede ser precisamente y objetivamente definido, asimismo, existe una correlación estadística débil entre el tamaño de la población y la degradación ambiental a escala nacional (Hildyard 2003).

La afirmación anterior no está fuera de ser problemática, pero por ejemplo Malasia ha deforestado su cobertura boscosa en un 40% más que Indonesia teniendo un decimo de su población, asimismo, Centroamérica que tiene una densidad de 57 personas por kilometro cuadrado, ha deforestado 410,000 kilómetros cuadrados, mientras que Francia con la misma área de tierra y el doble de la población a deforestado menos. En síntesis, esto demuestra que la depredación de un recurso natural no muestra que la población ubicada en esa zona se esté sobrepasando el límite de personas ubicadas en esa área.

La relación, entre el número de personas y la degradación ambiental, es claro que el asunto principal no es tan simple como definir cuantos o como la sociedad está organizada. En el caso de la deforestación, por ejemplo los periodos de más rápida destrucción fueron los de mayor crecimiento poblacional.

Evaluar la carga y la capacidad de soportar la población en la mayoría de áreas agrícolas y como juzgar que dichas áreas están sobrepobladas, se deberían tomar medidas para cambiar la razón humanos/tierra, esto con el fin de facilitar la ubicación de las poblaciones migrantes dentro de áreas más aptas (Hildyard et ál. 1993).

### **Capacidad de carga social**

A finales de los 60s e inicios de los 70s el concepto de capacidad de carga ha sido aplicado para capturar, calcular y expresar el límite ambiental como resultado de la actividad humana. Es así que, la utilización en ecología humana (involucra el análisis de interacciones entre los individuos, ambiente y sociedad, las demandas de los seres humanos al ambiente (Seidl y Tisdell 1999).

Existen decisiones de gestión que son basadas en dos tipos de conceptos de capacidad de carga la económica y la ecológica. Adicionalmente, cada categoría en si misma exhibe un rango de posibles niveles dependiendo del objetivo, métodos de cultivo y los rasgos ecológicos. La económica varía dependiendo de los objetivos productivos de la disponibilidad de tierra, o lo que el agricultor desea maximizar (Seidl y Tisdell 1999).

El concepto de capacidad de carga humano o social implica una profunda transformación y desviación de la concepción inicial que tiene la biología y la demográfica que es positiva. La aplicación de la capacidad de carga al ser humano requiere el reconocimiento de que debe ser socialmente determinada, más que la biológica que fija su importancia en los patrones de consumo del ser humano, tecnologías, infraestructura y sus impactos en el ambiente o en la disponibilidad de alimentos. Lo anterior, captura la diferencia entre la noción biofísica y la social. La capacidad carga específica el máximo que podría ser sustentado bajo varios sistemas sociales (Daily y Ehrlich 1992).

Otra variación importante en el concepto es introducir el daño o impacto al ambiente, esto sugiere que los límites en la población están fijados por el daño total global, la población más que un número por sí mismo. El impacto del máximo de la población, acentúa significativamente la conformación institucional, los valores humanos, tradiciones, economía y los patrones de consumo, distribución de la infraestructura. La naturaleza normativa y la necesidad de juicios de valor (Seidl y Tisdell 1999).

Considerar el impacto (I) que será producido por la interdependencia de tres factores como el tamaño de la población (P), el consumo per-cápita (A) que influye en el anterior y el daño ambiental que es provocado por la tecnología (T):  $I=PAT$ . La noción de impacto implica

que existen diferentes niveles de capacidad de carga dependiendo de los juicios de valor y de la dinámica del sistema predominante. La sociedad puede decidir que niveles de capacidad de carga quiere estar dentro de los límites y así evitar una degradación significativamente irreversible (Daily y Ehrlich 1992). Asimismo, la capacidad de carga depende de los juicios normativos que se realicen sobre la base de las funciones de bienestar social.

Por otro parte, en el tema de sustentabilidad existen requerimientos de estándares aceptables que son influenciados por las decisiones humanas. Es así, que esto se convierte una clara aplicación del concepto de capacidad de carga al problema de pasar de ser una concepción positiva a una normativa, lo que implica que cuando a esta noción se adiciona la parte social las decisiones que se toman basadas en esta idea, son de índole normativo y político (Seidl y Tisdell 1999).

### **Capacidad de carga con una visión demográfica**

Malthus y Darwin (1859) entendieron, que en ausencia de recursos limitados, tales como espacio y alimento, las poblaciones crecerían exponencialmente. Sin embargo, si los recursos fueran limitados como lo son, la tasa de crecimiento de la población se desaceleraría al volumen máximo de población que los recursos ambientales podrían soportar, esta disminución en el crecimiento continuaría hasta que se alcanzará el equilibrio. Este equilibrio ocurriría cuando el crecimiento sea asintótico a los límites del ambiente. Cuando la función de crecimiento de la población, resultante tome la forma de una S; que es típica en los estudios de laboratorio usados para probar los modelos de crecimiento poblacional, la capacidad de carga se mantendrá constante (Hopfenberg 2003).

Los modelos de crecimiento de la población son una extensión de la ecuación logística de Lotka (1925):

$$\frac{dP}{dt} = rP(t) \left( 1 - \frac{P(t)}{K(t)} \right)$$

#### *Fórmula 2. Función logística Lotka*

En la fórmula 2 P es población, t es tiempo y K es la capacidad de carga, r es una constante mayor a 0, el cual es parámetro Malthusiano y representa la tasa de crecimiento de la población, que es el efecto de neto de la reproducción y la mortalidad expresado en porcentaje.

Es así que, los límites de la población humana están ajustados por el daño total al ambiente, más que por el número de habitantes. Esto porque el máximo impacto en K esta



dado por los aspectos de normas, valores, tradiciones, economía, patrones de consumo y la distribución de la infraestructura (Seidl y Tisdell 1999).

Por otro lado, teóricamente la capacidad de carga es un grupo máximo de población que puede ser soportado indefinidamente con una adaptación particular en un ambiente específico. Es por esto, que se puede asumir que cualquier población está en su capacidad de carga cuando está no creciendo o está en un equilibrio dinámico. Esto sugiere que un indicador que una sociedad se está acercando a su capacidad de carga es cuando su tasa de crecimiento es baja o cero (Maserang 1977).

Por otra parte, cuando se mide capacidad de carga en los sistemas de alternancia de tierras de cultivo se busca el objetivo de conocer el punto donde la población no puede crecer más, con las condiciones dadas sin que se cause algún daño en la base de los recursos del sistema. Este daño ha sido descrito como un proceso de degradación de la tierra, que sucede cuando la población pasa el punto crítico sin un cambio en su comportamiento, tecnología o en un cambio en la cantidad de tierra para cultivo (Brush 1975).

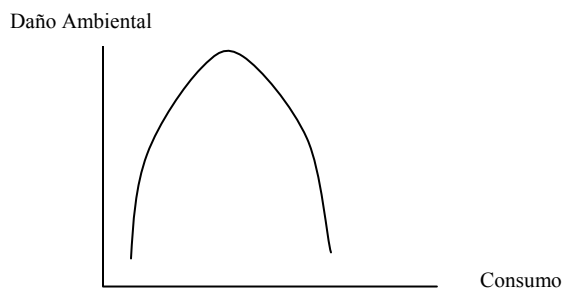
### **Crecimiento económico, capacidad de carga y medio ambiente**

En (Arrow et ál. 1995) se exponen diferentes aspectos relacionado con el crecimiento económico, la capacidad de carga y el medio ambiente. Las políticas económicas nacionales e internacionales y concretamente la globalización usualmente han ignorado al ambiente, esto es un efecto de la magnitud de las políticas no guarda relación con la magnitud de los problemas. En una de las áreas donde el ambiente ha empezado a ser mencionado en las políticas ha sido en los Acuerdos Generales en Tarifas y comercio (GATT), no obstante permanece una preocupación tangencial, que es si la presunción a menudo realizada que el crecimiento económico y la liberalización, son en algún sentido buenas para el ambiente. Esta noción hace referencia que estas políticas y reformas han sido realizadas con pocas consideraciones sobre las consecuencias ambientales, probablemente bajo el supuesto de que más tarde podrán ser abordadas o que podrían ser tratadas separadamente.

En general la proposición que el crecimiento económico es bueno para el ambiente ha sido justificada por reivindicación que existe una relación empírica entre ingreso per cápita y algunas medidas de calidad ambiental. Se ha observado que si el ingreso sube se presenta un incremento en la degradación ambiental hasta un punto, donde después del cual la calidad ambiental mejora (La relación tiene una forma de U invertida).

Una explicación a esta relación es que las personas en los países pobres no pueden permitirse poseer todos los elementos que generan bienestar. Consecuentemente, en las fases tempranas del desarrollo económico, el incremento de la contaminación es un efecto, considerado como aceptable. Sin embargo, cuando el país alcanza nivel de vida suficiente, las personas dan gran atención a los aspectos ambientales. El argumento anterior no se relaciona con los recursos ambientales que son materias básicas para el bienestar, esto conlleva a plantear la necesidad de establecer un estándar mínimo, pero también consumos máximos, es decir un rango superior y uno inferior.

Más allá, la curva en forma de U invertida (figura 2) ha sido comprobada para una conjunto de tipos de contaminación solamente. Sin embargo, existe la noción de que las personas gastan proporcionalmente más en mejorar la calidad ambiental si sus ingresos aumentan. No obstante, el crecimiento económico por sí mismo no puede inducir a una mejora del ambiente, esto porque aunque las sociedades tienen un mayor ingreso exigen una mejor calidad de ciertos elementos ambientales no siempre es así para toda la gama de recursos.



*Figura 2. Relación daño ambiental consumo.*

Existen varias razones para tener precaución en la interpretación de la curva con forma de U invertida. Esta relación como se menciono anteriormente es valida para contaminantes que envuelven costos de corto plazo a nivel local, pero para stock de contaminantes de largo plazo y de costos más dispersos, lo que sucede a menudo es que incrementan en función al ingreso como la contaminación por CO<sub>2</sub>.

Por otra parte, en la mayoría de los casos donde las emisiones han presentado una disminución con el incremento del ingreso, estas reducciones se han logrado mediante reformas locales, tales como las legislaciones ambientales e incentivos basados en el mercado para reducir los impactos ambientales. No obstante, estas reformas a menudo ignoran las consecuencias globales, internacionales, los costos de transacción geográficos (trade-offs) e intergeneracionales.

La solución de la degradación ambiental descansa en tales reformas que intentan obligar a los usuarios privados de los recursos naturales a tomar en cuenta los costos sociales de sus acciones. Así las cosas, cabe recalcar que la relación de U invertida como se ha mencionado es solo válida para algunos casos y no se constituye en una evidencia que suceda en todos los casos de contaminación.

Los recursos ambientales son la base sobre la cual todas las actividades económicas dependen incluyendo los ecosistemas que producen una amplia variedad de servicios. Esta base de recursos es finita, además son utilizados imprudentemente o subutilizados lo que probablemente reduzca la capacidad por generar material en el futuro. Todo esto implica que existen límites a la capacidad de carga del planeta. Es claro que existe la posibilidad de mejoras en la gestión de los sistemas de recursos, acompañada por conservación, cambios estructurales en la economía, podría posibilitar que la economía y el crecimiento de la población tomen lugar y que encajen con la base de recursos naturales.

La capacidad de carga en la naturaleza no es fija, ni estática o está conformada de relaciones simples. Depende de la tecnología, las preferencias, la estructura de producción y consumo. Asimismo, depende cualquier cambio en el estado de las interacciones entre los elementos físicos y bióticos del ambiente. Un número de capacidad de carga para personas podría no ser significativo porque las consecuencias tanto de las innovaciones humanas y la evolución biológica, son desconocidas. Por ejemplo Vitousek *et al* 1986, calcularon que el total tierras de producción de la biosfera actual que sea apropiado para el consumo humano es de alrededor del 40%.

### **Crecimiento económico, capacidad de carga natural y su ligamen con la huella ecológica.**

En años recientes, los seres humanos han reconocido que el crecimiento económico depende del capital natural, así como que son parte de la comunidad que está conformada por la economía y la ecología (Barrett y Farina 2000). Los servicios ecosistémicos consisten en flujos de materiales, energía e información de la naturaleza, esto combinado con la manufactura y los servicios del capital humano producen bienestar (Costanza et ál. 1997).

Una de las formas para cuantificar el crecimiento económico es a través del PIB (Producto Interno Bruto) el cual es un indicador comúnmente utilizado para esta valoración, este se define como el valor de mercado de todos los bienes y servicios finales producidos en un periodo de tiempo definido (usualmente un año) en una nación, a pesar, de que el índice es

impreciso en medir la contribución de los ecosistemas a las actividades económicas, puede ser utilizado como una representación numérica de la escala de la economía (Zhao et ál. 2008).

Una de las herramientas para valuar el capital natural y así como para entender su relación con los patrones de consumo que impulsan el crecimiento es la Huella Ecológica. Esta es una forma de medir los requerimientos en términos de consumo de recursos y asimilación de desechos de una determinada economía o población, expresado en áreas de tierra productiva (Rees y Wackernagel 2001).

Otro término en esta relación, es la capacidad de carga (CC) que se define como un número específico de seres que un hábitat puede soportar sin que este último sufra un daño permanente. Este concepto tiene implicaciones en la sustentabilidad, como las existencias remanentes de capital natural adecuadas para proveer de recursos al consumo y para las funciones de asimilación de los desechos, asimismo, para mantener la vida en general y las funciones de los ecosistemas (Rees y Wackernagel 1996). Este término es más claro si se define a la CC humana no como una población máxima, pero sí como una carga que puede ser seguramente impuesta en el sistema por las personas (Catton 1986).

En vista de lo anterior, si invertimos el estándar de CC y extendemos el concepto de carga, se podría utilizar la huella de carbono (HC) para evaluar la capacidad de carga humana, ya que la unidad de medida HC son las hectáreas per-cápita y la CC es generalmente expresada en unidades de hectárea. Haciendo que un concepto sea el inverso del otro, el poder realizar esta conversión tiene la función de obtener un aproximado del capital natural y los flujos que aportan (Zhao et ál. 2008).

Así las cosas, si se le da valor a las hectáreas por cada tipo de bioma y a los servicios ecosistemas de acuerdo a los aportes en la producción es posible hacer comparación entre este indicador de CC con otros tales como el PIB, estas relaciones y comparaciones tienen el propósito de poner el capital natural en la agenda de los economistas para la toma de decisiones (Zhao et ál. 2008).

### ***2.1.4 Conclusiones***

El concepto de capacidad de carga ha sido ampliamente utilizados por distintas ramas de la ciencia para, encontrándose uno de sus primeros usos en la ingeniería para dar a notar la capacidad de transporte de peso de los navíos, para de notar la capacidad de carga de algún sistema electrónico y para casi cualquier mecanismo que soportara algún tipo de fuerza o peso (Sayre 2008).

Así las cosas, el término empezó a ser masivamente utilizado por las demás ramas del conocimiento por la versatilidad del mismo para resaltar el atributo de un sistema. Sobre este particular, esta investigación va a centrar su interés en la relación de esta idea y su aplicación en las poblaciones humanas.

Una de las primeras concepciones de esta revisión es la “La capacidad de carga humana está determinada por la disponibilidad de alimento”, esta es una forma de contabilizar las existencias del capital natural que es utilizado para la producción de alimentos y la tasa de crecimiento poblacional, esta es la relación se cuantifica la capacidad de carga.

No obstante, el utilizar esta relación deja por fuera una serie de variables sociales, biofísicas, que afectan las interacciones dentro de un territorio haciendo que esta estimación de la capacidad de carga, solo cumpla la función brindar información sobre productividad agrícola del capital natural, lo que deja las posibilidades de gestión reducidas a ese tema e impondría un límite superior o inferior de la población restringida a esa variable.

Otro tema que aborda este artículo es la capacidad de carga social, la cual utiliza el mismo la misma fórmula donde  $K$  es máximo del capital natural en este caso es un máximo social que trata de salir de las convenciones de las concepciones biológicas ó económicas, pero cae en lo normativo por la necesidad de generar juicios de valor para la evaluación del daño ambiental, lo que deja a que cada sociedad tenga distintos niveles según los valores que esta tenga.

Por otro lado, los demógrafos inspirados por las teorías de Malthus, utilizaron una ecuación logística para expresar la tasa de crecimiento de la población, donde está ajustada por el daño total al ambiente, más que por el número de habitantes. Esto porque el máximo impacto en  $K$  esta dado por los aspectos de normas, valores, tradiciones, economía, patrones de consumo y la distribución de la infraestructura (Seidl y Tisdell 1999).

Esta concepción de capacidad de carga pone mucho peso en el daño ambiental como un limitante en el crecimiento poblacional más que en factor de organización social, la carencia de institucionalidad u otros factores que limiten que el crecimiento demográfico se a la tasa máxima adecuada.

En los siguientes dos temas “Crecimiento económico, capacidad de carga y medio ambiente” y “Crecimiento económico, capacidad de carga natural y su ligamen con la huella ecológica”. En el primero se trata de la relación que existe entre el capital natural y un indicador de crecimiento que se ha quedado corto para explicar las relaciones de una sociedad con sus recursos naturales.

Asimismo, enlaza ese aspecto con la importancia de conocer la capacidad de carga con el evadir costos en las sociedades y mejorar la gestión de las ciudades, el hecho de conocer el límite superior o cuando una ciudad está cerca de este es valioso para los planificadores. Sin embargo, a pesar de que las relaciones que hace entre la actividad económica mundial y la capacidad de carga no plantea una forma de cuantificar esta de una manera más integral.

En el caso del segundo enunciado este trata de ver cuál es el ligamen de la capacidad de carga (CC) con la huella de carbono con el fin de poder encontrar una herramienta para cuantificar a la CC y así poder hacer comparaciones con indicadores de crecimiento económico.

En síntesis, a las definiciones actuales de capacidad de carga se basan en la determinación de un límite denominado con la K donde se quiere que este parámetro explique todas las posibles decisiones y acciones de las sociedades y como esto pone un límite en su crecimiento demográfico. A pesar de que los diversos autores citados en este artículo son conscientes de que existen otras variables a demás de la productividad del capital natural que afectan a la capacidad de carga, en esta revisión no se ha visto una propuesta que se salga de lo desarrollado en las ciencias biológicas.

Lo cual limita las posibilidades de gestión de territorios que es lo que se busca cuando se trata de cuantificar la capacidad de carga en una zona, es por esto que es importante proponer formas más integrales de estimar la CC para tener más rangos de gestión de las poblaciones y tratar de comprender mejor los mecanismos que afectan a la misma.

### **2.1.5 Bibliografía**

- Arrow, K; Bolin, B; Costanza, R; Dasgupta, P; Folke, C; Holling, CS; Jansson, B-O; Levin, S; Maler, K-G; Perrings, C; Pimentel, D. 1995. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics* 15:5.
- Barrett, G; Farina, A. 2000. Integrating ecology and economics. *BioScience* 50(4):311-312p.
- Brush, SB. 1975. The Concept of Carrying Capacity for Systems of Shifting Cultivation. *American Anthropologist* 77(4):799-811.
- Cohen, JE. 1993. How many people can the earth support. *The Sciences*:8.
- Cohen, JE. 1995. Population Growth and the Earth's Human Carrying Capacity. *Science* 269:341-346.
- Costanza, R; d'Arge, R; de Groot, R. 1997. The value of world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387(253-260).
- Daily, GC; Ehrlich, PR. 1992. Population, sustainability, and Earth's carrying capacity. *BioScience* 42(10):761-771.
- De Camino, R., Galvao, A. s.f.(sin fecha). Manejo integrado de recursos naturales para la agricultura y el desarrollo sostenible. Elementos para un marco conceptual. 90p.
- Gottlieb, M. 1945. The theory of optimum population for closed economy *The Journal of political Economy* 53:289-316.
- Hopfenberg, R. 2003. Human Carrying Capacity is determined by food availability. *Population and Environment* 25(2):7.
- Hildyard, H., Sexton, S., Lohman, L. 1993. "Carrying capacity", "Overpopulation" and Environmental Degradation(en línea). Consultado 31 mayo 2009. Disponible en <http://www.thecornerhouse.org.uk/resource/%E2%80%9Ccarrying-capacity%E2%80%9D-%E2%80%9Coverpopulation%E2%80%9D-and-environmental-degradation>. 12p
- Maserang, C, H. 1977. Carrying Capacities and Low Population Growth. *Anthropological Research* 33(4):474-492.
- Meyer, PS; Ausubel, JH. 1999. Carrying Capacity: Model with Logistically Varying Limits *Technological Forecasting and Social Change* 61(3):6.
- Odum, EP. 1959. *Fundamentals of Ecology*. 2da ed. Philadelphia p. 546.
- Rees, W; Wackernagel, M. 1996. Urban ecological footprints: why cities cannot be sustainable and why they are key to sustainability. *Environmental Impact Assessment* 16:223-248p.
- Rees, W; Wackernagel, M. 2001. Nuestra huella ecológica. Santiago de Chile, LOM. p. 71-73. 207 p.
- Sayre, NF. 2008. The Genesis, History, and Limits of Carrying Capacity. *Annals of the Association of American Geographers* 98(1):120 - 134.
- Seidl, I; Tisdell, C. 1999. Carrying capacity reconsidered: from Malthus population theory to cultural carrying capacity. *Ecological Economics* 31:13.
- Zhao, S; Hong, H; Zhang, L. 2008. Linking the concept of ecological footprint an valuation of ecosystem services: A case study of economic growth and natural carrying capacity. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* 15(5):448-456 p.
- La Organización Mundial de la Salud define el acceso al agua basado en la cercanía en

## **3 ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN II**

### **Modelos de la propuesta de capacidad de carga**

#### **3.1 Introducción**

Esta investigación no es la primera que intenta utilizar sistemas dinámicos, en el libro “Los límites del crecimiento” realizado en el marco del Informe para el proyecto del Club de Roma, se utiliza la técnica del análisis dinámico de sistemas, este se enfocó en las interrelaciones de cinco variables: monto y tasa de incremento de la población mundial, disponibilidad y tasa de utilización de los recursos naturales, crecimiento del capital y la producción de alimentos y extensión de la contaminación ambiental (Meadows et ál. 1972).

La idea guía de esta investigación es que no solamente son las tierras de cultivo, los bosques son los factores que esenciales en la capacidad de carga sino todos los activos y todas las actividades asociadas a el espacio rural en general, es de ahí que surge la pregunta ¿Los modelo actuales de capacidad de carga en de poblaciones humanas analizan integralmente a los territorios o solo algunos elementos dentro del mismo?

En relación a lo anterior, se evidencia la necesidad de que el cálculo de la capacidad de carga debería considerar además del potencial de la producción agropecuario o un límite ambiental (K), podría contemplar una gama más amplia de variables como la generación de empleo, los ingresos, en general todo el potencial que el aprovechamiento sostenible de los diferentes tipos de recursos que la microrregión puede suministrar. Incluso se debería superar la visión sectorial en la definición del concepto de capacidad de carga e incluir la visión temporal, asimismo, es necesario incorporar la mayor cantidad de actividades que tienen lugar en los espacios rurales para que la gestión de la capacidad de carga de una población en un territorio sea más integral, de lo anterior surge la siguiente pregunta ¿Cuál debe ser la estructura de formulación del concepto de capacidad de carga para que logre abarcar la mayoría de elementos que conforman un territorio?

Las culturas son el resultado de las personas tratando de sobrevivir en el ambiente donde se encuentran, esto implica intentar optimizar los recursos disponibles, es así que los estilos vida y los sistemas de producción se desarrollan a partir de la observación y la experimentación que con el tiempo se van convirtiendo en parte de la cultura. La existencia de vínculos entre lo social, económico y ecológico es el resultado del proceso de evolución de las



sociedades, la consecuencia de esto es que las soluciones de los problemas que presenta alguno de estos elementos no deben ser pensadas solo desde la perspectiva de un factor si no que comprenda a todos ellos como un sistema, por lo cual el paradigma con el cual se enfrenten los problemas no puede seguir la convención de solo actuar en el frente donde la situación es evidente sino debe actuar en todas las dimensiones presentes en el sistema, para así restaurar el balance (Singh 2006).

De conformidad con lo anterior, para conceptualizar una nueva definición del concepto de capacidad de carga adicionalmente a la idea guía que es el punto de partida de esta investigación, es necesario buscar enfoques sistémicos que orienten el desarrollo teórico del presente estudio.

El desarrollo es un concepto muy amplio y que es analizado por varias ramas de las ciencias sociales, una de las corrientes de pensamiento enseña y analiza al mismo, pensando desde la producción, el empleo y la línea de pobreza: (Chambers y Conway 1991)

- Pensando desde la producción
  - Los problemas de hambruna, desnutrición, son visto como inconvenientes de producción, de obtención de alimentos suficientes.
- El empleo
  - Los problemas de los pobres son vistos como una carencia de empleos, por esto se implementan políticas para generar una serie de nuevos puestos de trabajo, está idea del pleno empleo, donde cada quien tiene una labor, no obstante esto no calza en la realidad rural, en la cual las personas buscan sobrevivir a través de realizar diversas actividades.
- Línea de pobreza
  - La privación es definida en términos de la línea de pobreza, la cual es medida en términos del ingreso o consumo. El objetivo entonces es permitir que las personas se levanten por encima de esta línea, sin embargo, la privación y el bienestar, como una percepción de la pobreza rural se queda corta ya que esto tiene más dimensiones que las formas medida mencionadas.

El análisis de la pobreza ha cambiado con el pasar de los años de las formas mencionadas anteriormente, se ha iniciado un proceso de poner atención en los recursos que las personas poseen, dando importancia a los capitales como por ejemplo el social en la

determinación del bienestar, este enfoque de los medios de vida coloca su atención fundamental en la comunidad

Es así que, el Departamento de Desarrollo Internacional (DFID por sus siglas en inglés) al final de los años 90 desarrolla “La Metodología de Medios de Vida Sostenibles” (MVS). Se basa en el reconocimiento de que las estrategias de supervivencia de los individuos, familias, organizaciones y comunidades parten de sus preferencias particulares, del acceso (o la falta del mismo) a los diferentes capitales (Miranda et ál. 2003) y del esfuerzo de superar la vulnerabilidades que se presentan mayormente a través de eventos naturales y de políticas socio-económica.

Si se desea llegar a comprender a fondo estas complejas relaciones hay que ir más allá de los simples activos y reflexionar sobre las prácticas culturales predominantes y sobre los tipos de estructuras y procesos que "transforman" los activos en logros en materia de medios de vida y como esto afecta la capacidad de carga del territorio.

El tomar como base el análisis de los capitales para elaborar una definición alternativa del concepto de capacidad de carga y modelar la dinámica de un sistema rural, es medio para intentar conocer los límites no solamente biofísico si no del entramado social que ocurre en una comunidad. Es por esto, que para estudiar un territorio donde convergen, tanto las diversas expresiones humanas y fenómenos las naturales, donde cada subsistema es parte del sistema.

## **3.2 Modelaje**

### **Etapa de conceptualización**

Para estructurar el proceso de modelación, es necesario pensar y decidir sobre el propósito del modelo, este proceso implica enfocarse en el problema. Un modelo de un sistema dinámico es construido para entender las fuerzas del sistema que generan el “problema” y continúan sustentándolo.

Un modelo significativo, debe ser originado por la existencia de algún problema fundamental en el sistema que crea la necesidad de conocer más y entender el mismo. El objetivo de la etapa de conceptualización es llegar a un concepto del cual sea posible generar un modelo tosco con el que se pueda determinar los aspectos de interés del sistema. La información principal para un sistema dinámico no solamente está conformado por datos

estadísticos, si no de conocimiento de las personas que están familiarizadas con el sistema que se va a analizar (Albin 1997).

Por otra parte, si el propósito del modelo es muy abstracto puede resultar en una pérdida de tiempo, porque el modelo probablemente va a incluir muchos componentes y sería muy complejo para cualquier análisis práctico. El propósito del modelo usualmente entra dentro de las siguientes categorías:

- Clarificar el conocimiento y el entendimiento del sistema.
- Descubrir políticas que podrían mejorar el comportamiento del mismo.
- Capturar los modelos mentales y que sirvan como comunicación y unificación del medio.

### **Aspectos iniciales del modelo**

Un paso inicial en la configuración del modelo es realizar el ejercicio de denominado lluvia de ideas, que lleve a definir que compone el problema de estudio para crear el modelo, el ejercicio se debe realizar aunque no se esté seguro de todos elementos que podrían conformar el mismo.

Para la selección de componentes la siguiente lista inicial puede ayudar:

- Componentes necesarios: al momento de designar el límite no se debe excluir nada del modelo que sea imperativo mantener para generar una apropiada representación del comportamiento de interés, así como del propósito del modelo seleccionado. También, se debe tener presente que nada que este incluido deberá ser innecesario.
- Componentes que deberán ser agregados: conceptos similares deberán ser agregados si al hacer esto no se cambia la naturaleza de lo que se quiere estudiar con el modelo y el propósito del mismo. Pocos componentes ayudan a evitar complicaciones innecesarias, sin embargo, agregar elementos que provoquen que el modelo no refleje la realidad, como por ejemplo los flujos de nacimientos y muertes no debería ser agregado en nacimientos netos.
- Componentes deben ser direccionados: todos elementos importantes deben tener un nombre direccionado que pueda indicar el concepto total como aspectos más particulares del mismo, por ejemplo ira o felicidad están dentro de la actitud mental.

## **Conceptualización**

La idea de proponer una definición alternativa de capacidad de carga tiene como punto de partida un fragmento del documento denominado “Manejo integrado de recursos naturales para la agricultura y el desarrollo sostenible” de De Camino y Galvao.

“...Surge entonces la necesidad de definir nuevamente, en términos prácticos, el concepto de capacidad de carga. El área que se debe considerar no es sólo la tierra, sino el espacio rural en general, y no sólo el cultivo de las tierras y de los bosques, sino de todas las actividades asociadas. El concepto de capacidad de carga puede definirse a cualquier nivel de agregación geográfica; mientras mayor sea el contexto regional, mayores serán las posibilidades de aumentar la capacidad de carga, al aumentar las alternativas de complemento a los cultivos y productos de la tierra. En otras palabras, el concepto de capacidad de carga, no sólo está orientado a la capacidad de dar alimentación a la población creciente (Caja nº 1), sino también de generar empleo digno, derivado del potencial de los recursos naturales. En el cálculo de la capacidad de carga debe considerar entonces además del potencial de producción de la agricultura, de la ganadería, del bosque, también la capacidad de generación de empleo y de ingresos fuera de la finca en las industrias derivadas como la agroindustria, industria forestal, procesamiento de los productos no maderables del bosque, ecoturismo y en general todo el potencial que el aprovechamiento sostenible de los recursos dentro de la microregión bajo consideración puede suministrar. Incluso se debería superar la visión sectorial en la definición del concepto de capacidad de carga y el concepto debe incluir la visión temporal en que en la dinámica es necesario incorporar nuevos sectores y actividades para aumentar paulatina y programadamente la capacidad de carga...”

Para conceptualizar una capacidad de carga que abarque los puntos tratados en el fragmento anterior es necesario abordar los recursos con los que una comunidad cuenta, con este fin es que se va a utilizar la teoría de los capitales y medios de vida. Se pretende que el modelo explique los ciclos de retroalimentación entre los factores que se seleccionen.

En el documento de síntesis del papel de la biodiversidad en el funcionamiento de los ecosistemas, se argumenta que solamente una pequeña parte de las especies y de los procesos son esenciales en la formación de la estructura general del comportamiento del sistema (Holling et ál. 1995), bajo esta premisa es que se realizara la construcción del cuadro1 donde están los capitales y los parámetros o procesos esenciales, cabe resaltar que por el carácter

teórico del estudio esta lista no intenta ser definitiva, el esfuerzo es más para tener una guía para la conformación de los probables mecanismos a proponer.

*Cuadro 1. Parámetros son los elementos básicos que conforman los capitales los signos indican la relación con el capital que componen y la relación con los demás.*

Capital		Social	Financiero	Natural	Físico	Humano	
Parámetros							
<b>Financiero</b>							
1	Integración al Mercado	+	+	-	+	+	
2	Acceso al capital financiero	+	+	-	+	+	
3	Ingresos	+	+	+	+	+	
4	Flujos financieros	+	+	+	+	+	
5	Desempleo	-	-	-	-	-	
<b>Social</b>							
1	Redes y conexiones	+	+	+	+	+	
2	Grupos formalizados	+	+	+	+	+	
3	Participación de la comunidad Inst. Estad	+	+	+	+	+	
<b>Natural</b>							
1	Biodiversidad	+	+	+	-	+	
2	Cobertura	+	+	+	-	+	
3	Agua	+	+	+	-	+	
<b>Físico</b>							
1	Infraestructura pública	+	+	-	+	+	
2	Inversión en capital(activos para la finca)	+	+	-	+	+	
<b>Humano</b>							
1	Años de experiencia laboral	+	+	+	+	+	

2	Nivel Educativo	-	+	+	+	+	
3	Migración	-	+	-	-	-	
Elaboración propia							

En el cuadro 1, lo que se presenta es una exploración de los efectos puede tener el parámetro sobre el capital al que pertenece y la relación con los demás, si el impacto es positivo lo que implica que si este existe un fortalecimiento del capital (+) y la inversa si el signo es negativo. Sobre este particular, cabe mencionar que las relaciones se hicieron utilizando el supuesto de que todo se mantiene constante conocido como “ceteris paribus” en la rama de la economía.

La realización del cuadro 1 es necesaria, a pesar de que la investigación tiene un carácter teórico el hacer el ejercicio de ver que variables (parámetros o procesos esenciales) podrían estar involucradas y poder comprender cuales de estas son rápidas (datos de la vida de un insecto) o lentas (datos la vida de un árbol), estas últimas determinarían el tiempo que se necesitaría para efectuar una comprobación (Folke 2006).

### 3.2.1 Modelos

La dinámica estudia los cambios que suceden en un sistema que se desenvuelven en el tiempo. Este enfoque trata de explicar el comportamiento de cualquier sistema a través del entendimiento de sus puntos de equilibrio, si se mantiene repitiendo ciclos o si tiene movimientos más complejos, esto es lo que trata de analizar esta disciplina (Strogatz 1994).

Al respecto, esta forma de estudiar los sistemas inicia alrededor del 1600 cuando Newton utilizó ecuaciones diferenciales, para explicar su ley del movimiento gravitacional, y la combinación de la ley del movimiento planetario de Kepler. En 1700 floreció el cálculo sobre diferentes mecanismo clásicos, en el siglo siguiente las investigaciones fueron orientadas en los estudios de los movimientos planetarios y el enfoque geométrico del caos, entre 1920 al 1950 lo que se analizó fue los sistemas no lineales oscilatorios en los campos de la física y la ingeniería, en el mismo siglo otros estudios estuvieron enfocados en el caos, en los fractales, las oscilaciones y sus aplicaciones (Strogatz 1994).

Existen dos tipos principales de sistemas dinámicos, los que utilizan ecuaciones diferenciales o los de mapas de repetición. Las ecuaciones diferenciales describen la evolución

de un sistema en tiempo continuo y los mapas de repetición son utilizados cuando el tiempo se comporta como una variable discreta en lapsos cortos que se repiten entonces se trabaja en segmentos de tiempo (Strogatz 1994). El objetivo de la formulación de un problema mediante ecuaciones diferenciales es resolverlo de una forma general, lo cual no quiere decir que no se obtengan resultados específicos (Simon 1986).

### **Mecanismos básicos**

Los mecanismos básicos representan un conjunto pequeño de relaciones causa y efecto capaces de generar y explicar el comportamiento de las variables. Estos también pueden ser vistos como la historia que explica la dinámica del sistema.

Una herramienta para descifrar los mecanismos son los diagramas de causales tienen un papel importante en el estudio de los sistemas dinámicos, primero en el desarrollo del modelo y como esbozos preliminares de la hipótesis de causalidad, la segunda función es que pueden simplificar la ilustración del modelo y así demostrar supuestos del modelo (Goodman 1974).

Una forma de representar los mecanismos básicos es con la utilización de diagramas de causalidad. Otros prefieren comenzar planeando la estructura de stock-flujo. Es importante notar que planear los diagramas de causalidad o las stock - flujos no es la formulación en si del modelo. En la conceptualización, ambos son sólo diagramas, no implica que las ecuaciones sean modificadas o se extraigan completamente de este ejercicio de visualización.

### **Diagramas de stock – flujo**

Cuando se escoge diagramar los mecanismos básicos en términos de stock y flujo a los profesionales a menudo tienen en sus mentes relaciones de causalidad. Los diagramas de stock- flujo tienen la tendencia de ser más detallados que los de causalidad y ayudan a pensar más específicamente en lo concerniente a la estructura del sistema. Si se realiza este paso se pueden evitar muchos de los errores que se cometen, debido a que los diagramas de stock – flujo representan de una forma más estricta las relaciones entre los componentes, además proveen mayor información que los de causalidad. En las siguientes fases del artículo se realizarán bosquejos de diagramas de causalidad intentando acercarse a niveles más específicos como lo son diagramas de stock flujo.

## Métodos numéricos

Los problemas se pueden resolver de forma analítica, lo cual comprende solucionarlo en términos de ecuaciones relativamente simples, no obstante los problemas de investigación que existen en las distintas ramas de la ciencia presentan grados de complejidad que hace que resolver los de forma analítica no sea recomendado, para estos caso se utilizan los métodos numéricos.

### El método de Euler

Este es uno de los métodos el cual es de simplicidad conceptualmente y de uso extendido. Dada una ecuación diferencial,

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y) \quad (1)$$

Donde el lado derecho es una función específica de  $y$  o de  $x$ , se introducen para las variables valores iniciales  $x_0$  y  $y_0$  con estos se procede a calcular un cambio pequeño en  $\Delta y_1$  que ocurrirá en  $y$  por un cambio en  $x$ .

$$\frac{dy}{dx} = f(x_0, y_0) \quad (2)$$

$$\Delta y_1 \approx \Delta x f(x_0, y_0) \quad (3)$$

Cuando se calculan los nuevos valores para  $x$  y  $y$

$$x_1 = x_0 + \Delta x,$$

$$y_1 = y_0 + \Delta y_1$$

Se inserta los cálculos anteriores en (1) y se repite el proceso de cálculo,

$$\Delta y_2 \approx \Delta x f(x_1, y_1)$$

$$x_2 = x_1 + \Delta x,$$

$$y_2 = y_1 + \Delta y_2$$

Este proceso se puede repetir tantas veces como se desee.

Siempre que las medidas de cambio sean suficientemente pequeñas, esta técnica siempre va a brindar la solución correcta, la pregunta es cómo saber cuál es el tamaño del paso correcto.

### Supuestos generales de los modelos

En las secciones a continuación se presentarán tres modelos que van a ir aumentando en complejidad y que tratan de describir los mecanismos que ocurren en una sociedad rural, cada ecuación busca explicar un sistema que está compuesto por subsistemas como el social, el natural, humano y económico.



El supuesto de partida es que todos los capitales están en la misma unidad, esto es necesario porque se van a utilizar ecuaciones diferenciales para describir los mecanismos y una de las condiciones del modelaje con esta herramienta matemática es que todos los elementos a ser incluidos en la ecuación deben estar en la misma unidad, ya sea esta energía, calorías, en unidades monetarias u otras, algunos ejemplos de intentos de poner diferentes elementos en la misma unidad son el artículo de (Singh y Grunbuhel 2003) que tiene por título “Environmental relations and Biophysical transition: The case of Trinket Island, donde todas las variables del estudio se convierten en calorías para hacer el análisis de los diferentes sistemas, otro ejemplo de esto es el libro “La depreciación de los recursos naturales en Costa Rica y su relación con el Sistema de cuentas nacionales” de Solórzano et al 1992, donde le asignan unidades monetarias a los bosques, suelos y recursos pesqueros para denotar su depreciación o apreciación.

La estructura de análisis de los tres modelos va a constar de las siguientes partes:

- Un diagrama de causa y efecto
- Definición de los conceptos que conforman las ecuaciones (capitales)
- Un segmento de supuestos específicos de cada modelo
- El análisis del equilibrio, existen dos tipos el estable y el inestable.



*Figura 3. Tipos de equilibrio.*

- Determinación del tipo de equilibrio para ello el primer paso es, la matriz Jacobiana del sistema de ecuaciones, está formada por las derivadas parciales de primer orden, una de las aplicaciones es la posibilidad de aproximar linealmente a la función en un punto.

- Criterios de estabilidad, la “trace” es siempre la suma de la matriz Jacobiana y determinante es el producto. Si la traza es negativa y el determinante positivo el equilibrio es estable y viceversa para el equilibrio inestable, esto es válido para los modelos de dos dimensiones (De Vries et ál. 2003). En la figura 4 se pueden observar las distintas combinaciones posibles entre la traza y el determinante y el tipo de equilibrio, así como su forma probable.

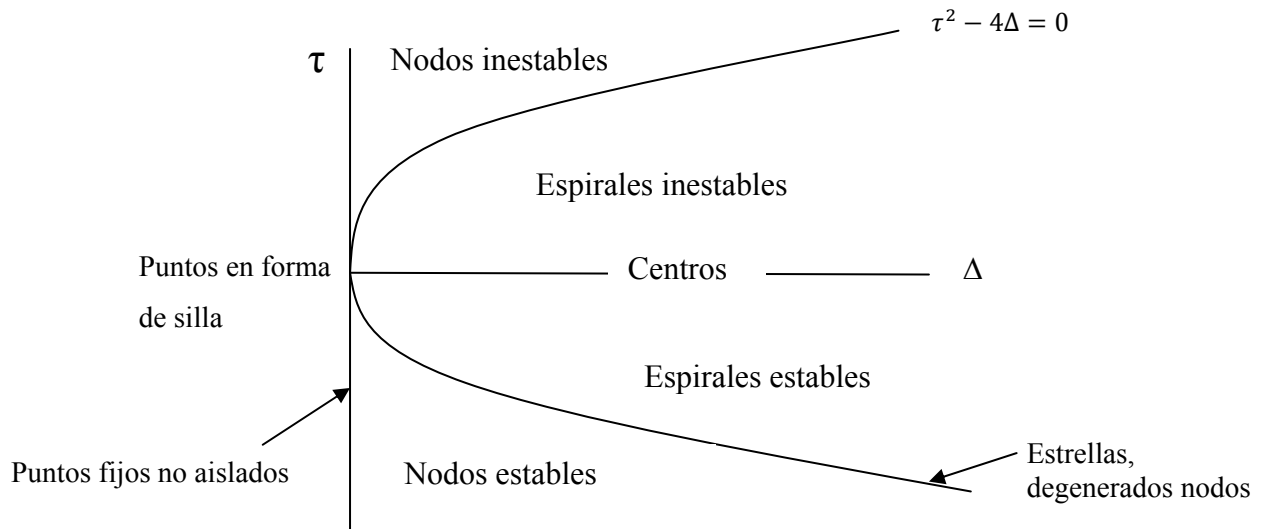


Figura 4. Puntos de estabilidad donde el eje “y” es la traza ( $\tau$ ) y el “x” es el determinante ( $\Delta$ ). Fuente: Strogatz 1994

- La estabilidad de un sistema dinámico está determinada por la ubicación de las raíces de un cierto denominador. Esto se utiliza con los modelos de tres dimensiones se debe usar se utiliza el criterios de estabilidad de Routh – Hurwitz, este criterio que sirve para comprobar la estabilidad de los sistemas dinámicos, a través de la generación de un polinomio característico.

$$P(\lambda) = \lambda^n + a_1\lambda^{n-1} + \dots + a_{n-1}\lambda + a_n$$

*Fórmula 3. Ecuación del capital social, primer modelo*

*Fórmula 3. Polinomio caracteristica del arreglo y criterio de Routh Hurwitz.*

El criterio de estabilidad se resume:

$n=2: a_1 > 0$  y  $a_2 > 0$

$n=3: a_1 > 0, a_3 > 0$  y  $a_1 a_2 > a_3$

- En los gráficos que se presentarán en el desarrollo del artículo se omitirán las escalas de ambos ejes el vertical y horizontal porque lo que se quiere resaltar

son los comportamientos generales de los mecanismos y no los datos numéricos simulados los cuales son meramente aproximativos.

### 3.2.2 Modelo I

En este primer modelo, parte del análisis de dos sistemas, el social y el económico. Una herramienta útil previo a la formalización de las ecuaciones es el uso de diagramas de causa y efecto.

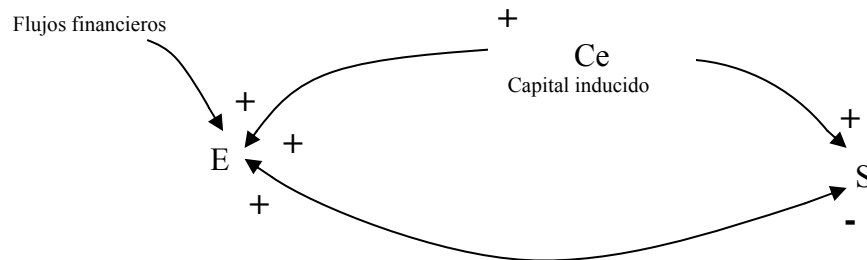


Figura 5. Diagrama causa efecto, capital financiero (E), capital social (S) y capital inducido (Ce).

La primera ecuación es una exploración de los mecanismos que inciden en el capital financiero este hace referencia a los recursos financieros que las poblaciones utilizan para lograr sus objetivos en materia de medios de vida, tratando de capturar un importante bloque de construcción como lo son: (DFID 1999).

- Las partidas disponibles: Los ahorros en sus diversas formas: dinero en metálico, depósitos bancarios o activos líquidos como el ganado o las joyas. También pueden obtenerse recursos financieros a través de instituciones de suministro de créditos.
- Las entradas regulares de dinero: Además los ingresos percibidos, los tipos de entradas más comunes son las pensiones u otros pagos realizados por el estado y las remesas de los migrantes desde el extranjero

## Ecuaciones

### Capital Financiero

$$\underbrace{\frac{de}{dt}}_{\text{Razón de cambio}} = \underbrace{ge(t)}_{\text{Efecto de los parámetros}} \underbrace{\left(1 - \frac{e(t)}{\hat{e}}\right)}_{\text{Cambio de comportamiento}} \underbrace{\left(\frac{e(t)}{c} - 1\right)}_{\text{Cambio de comportamiento}} + \underbrace{\gamma s(t)}_{\text{Efecto del capital social}}$$

*Fórmula 4. Ecuación del capital financiero, primer modelo*

Donde,

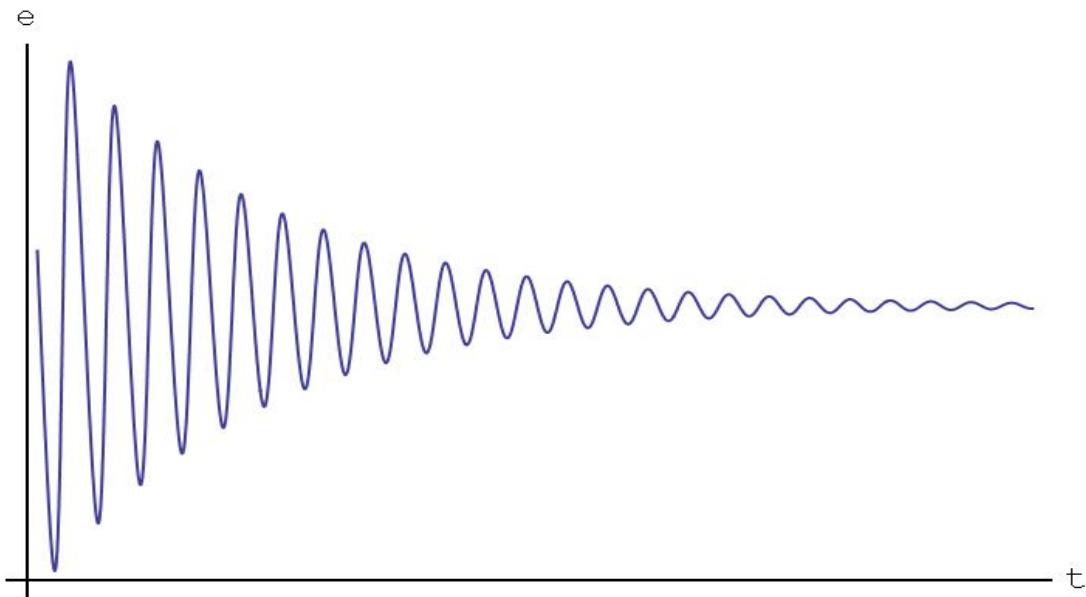
e: es el capital financiero

g: parámetros que conforman el capital (ver cuadro 1)

$\hat{e}$ : un nivel de capital financiero máximo

c: es un capital financiero inducido

$\gamma s$ : es el efecto de los parámetros del capital social sobre el capital financiero



*Figura 6. Gráfico de la función del capital financiero.*

En la figura 6 la función del capital financiero presenta oscilaciones lo cual muestra puntos máximos y mínimos, el objetivo es representar las fluctuaciones o ciclos del comportamiento de la economía. Un ejemplo de esto fue lo sucedido en Hojancha, donde se vivió una época de auge en la producción de granos básicos después esta actividad decayó, lo que origino un cambio en la actividad productiva en la zona a la agropecuaria enfocada en la producción de carne debido a los precios atractivos del mercado, no obstante al igual que sucedió en los granos básico este sector sufrió un colapso en 1970 lo cual genero otro cambio de actividad económica predominante siendo esta la forestal, café y turismo, en síntesis cada

cambio en la actividades económicas fue guiada por las fluctuaciones del ciclo económico es por esta razón que se construyó la ecuación para que explicara la dinámica oscilante de la economía local.

La segunda ecuación del modelo describe los mecanismos que se desarrollan en el capital social, este se refiere a los recursos sociales con que cuentan los pueblos para apoyarse en la búsqueda de sus objetivos en materia de medios de vida. Éstos se desarrollan mediante: (DFID 1999)

- Redes y conexiones, ya sean verticales (patrón/cliente) u horizontales (entre individuos con intereses compartidos), que aumenten la confianza y habilidad de las poblaciones para trabajar en grupo y ampliar su acceso a instituciones de mayor alcance, como organismos políticos o civiles.
- Participación en grupos más formalizados, lo que suele entrañar la adhesión a reglas, normas y sanciones acordadas de forma mutua o comúnmente aceptadas; y

La confianza y reciprocidad mutuas disminuyen los costes del trabajo conjunto. Esto significa que el capital social tiene un impacto directo en otros tipos de capital.

### Capital Social

$$\underbrace{\frac{ds}{dt}}_{\text{Razón de cambio}} = \alpha \underbrace{s(t)}_{\text{Efecto de los parámetros}} \left( \underbrace{\hat{s}}_{\text{Cambio de comportamiento}} - \underbrace{e(t)}_{\text{efecto del capital financiero}} \right)$$

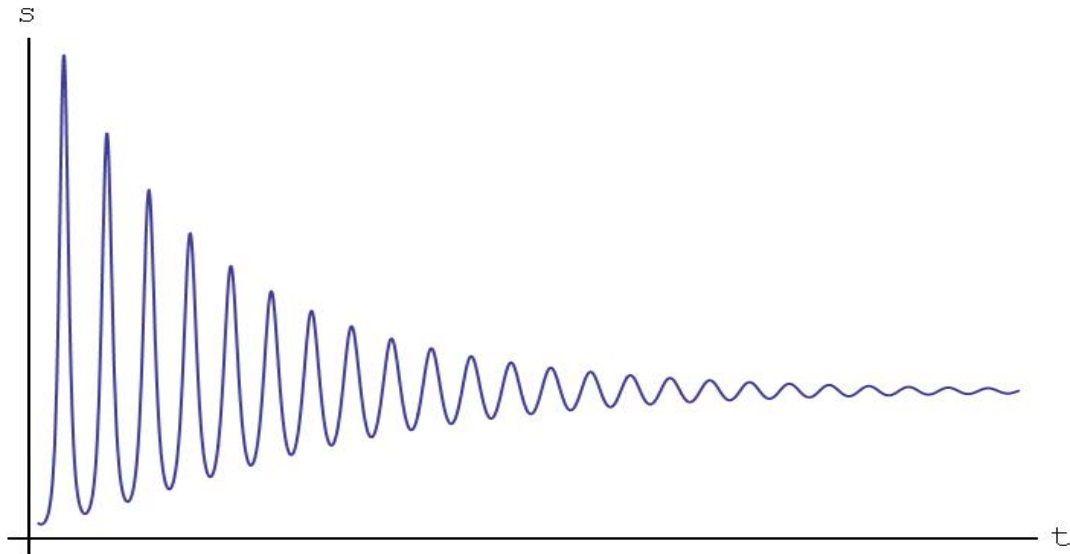
*Fórmula 5. Ecuación del capital social, primer modelo*

Donde,

S: es capital social

$\alpha$ : son el efecto de los parámetro del capital social

$\hat{S}$ : capital máximo



*Figura 7. Gráfico de la función del capital social.*

En la figura 7 se puede observar el comportamiento de los mecanismos descritos en la fórmula 2, al igual que en la figura 6 se presenta oscilaciones este fenómeno se debe a la relación inversa que se plateo entre el capital financiero y el social, esto basado en la idea de que las sociedades buscan organizarse para afrontar los momentos difíciles, debido a esto cuando el capital financiero está en la parte baja del ciclo el capital social presenta un punto alto lo que se traduciría en mayor organización social.

Para ilustrar esta situación basta con retomar el caso de Hojancha, donde Tekelenburg 2009 menciona que ante cada colapso en el sistema económico de esta región se han creado una serie de instituciones y grupos (capital social) para salir de la crisis, asimismo, Campos et al 1993 alude que el proceso de organización en el cantón es debido a la falta de empleo en la zona.

### **Supuestos**

- Es una sociedad que se organiza ó reaccionada ante la posibilidad de conseguir fondos (capital financiero), un ejemplo de esto es lo que relata Campos *et al* 1993 se puede encontrar una recopilación del proceso de organización de en el cantón de Hojancha, este proceso inicia debido a la falta de empleo en la zona que representaba un problema social ya que la región se estaba despoblando. Con el fin, de resolver esa problemática se realizo un diagnóstico de la situación y una de las decisiones a las que se llego fue implementar un programa de desarrollo rural integrado, como una estrategia para capacitar a los

dirigentes, promover la organización, diversificar y generar nuevas alternativas de trabajo y frenar así la migración. Uno de los efectos de este programa fue que se organizó y constituyó el Centro Agrícola Cantonal de Hojancha (CACH), en mayo de 1978. Este organismo estableció una serie de programas de diversificación agrícola, dichas estrategias se generaban de las inquietudes del sector agrícola y los técnicos de la zona, de la unión de las diferentes necesidades surgió un plan de diversificación agrícola, que abordó temas como la caficultura y apoyo a Coopepilangosta, apicultura, ganadería de doble propósito, cerdos, hortalizas y granos básicos.

- El capital social y el capital financiero son los motores de cambio más importantes dentro de un territorio. Ambas ecuaciones conforman, el contexto socioeconómico contiene factores como, los demográficos, económicos sociales, políticos, ciencia y tecnología, así como los culturales y religiosos, los cuales tienen una influencia directa en el uso de los recursos del sistema y los actores involucrados al nivel local. Esto corresponde a las estructuras de proceso y transformación que están presentes en el enfoque de los medios de vida y en los motores indirectos de cambio en el enfoque del MEA, ver la figura 8 para que queden más claras las relaciones (Tekelenburg 2009).
- El efecto negativo del capital financiero sobre el social, se expresa con lo sucedido con el aumento del precio de la carne después de la segunda guerra mundial, lo que generó un mal uso de los recursos en Hojancha, para los 70s cuando colapsó el mercado internacional de carne, esto obligó a los campesinos a migrar a centros urbanos en busca de empleos. Asimismo, los auge económicos de ciertas regiones atrae flujos de migración que no siempre son beneficiosos para el capital social de la zona receptora.
- El efecto positivo del capital social sobre el financiero, podría darse por medio de la incidencia política, un ejemplo de ello fue la situación que se dio en el cantón de Hojancha Guanacaste Costa Rica después de la caída del mercado de la carne esta población sufrió una inmigración de sus ciudadanos a otras regiones del país dejando las tierras utilizadas en la producción abandonadas lo cual promovió un proceso de regenerarse la cobertura arbórea en la zona. Aprovechando esta situación, en 1991 el gobierno implementó programas de

pago por servicios ambientales y en 1996 otorgó diversos incentivos de reforestación. A la par de esta ley en 2002 se establecieron certificados de servicios ambientales para estimular a las empresas privadas a la conservación. Esto producto de las acciones realizadas por las organizaciones sociales del cantón.

- La importancia del capital social no solo recae en la masa, sino también en los individuos que sirven como líderes, proveen confianza, ideas guías y sentido a las redes sociales formales o informales, de estos grupos sociales surgen los sistemas de conocimiento, la memoria social, a su vez las estas redes tiene como utilidad de unir el sistema de gobierno (Folke 2006).



## Marco conceptual de los vínculos entre la biodiversidad y al pobreza

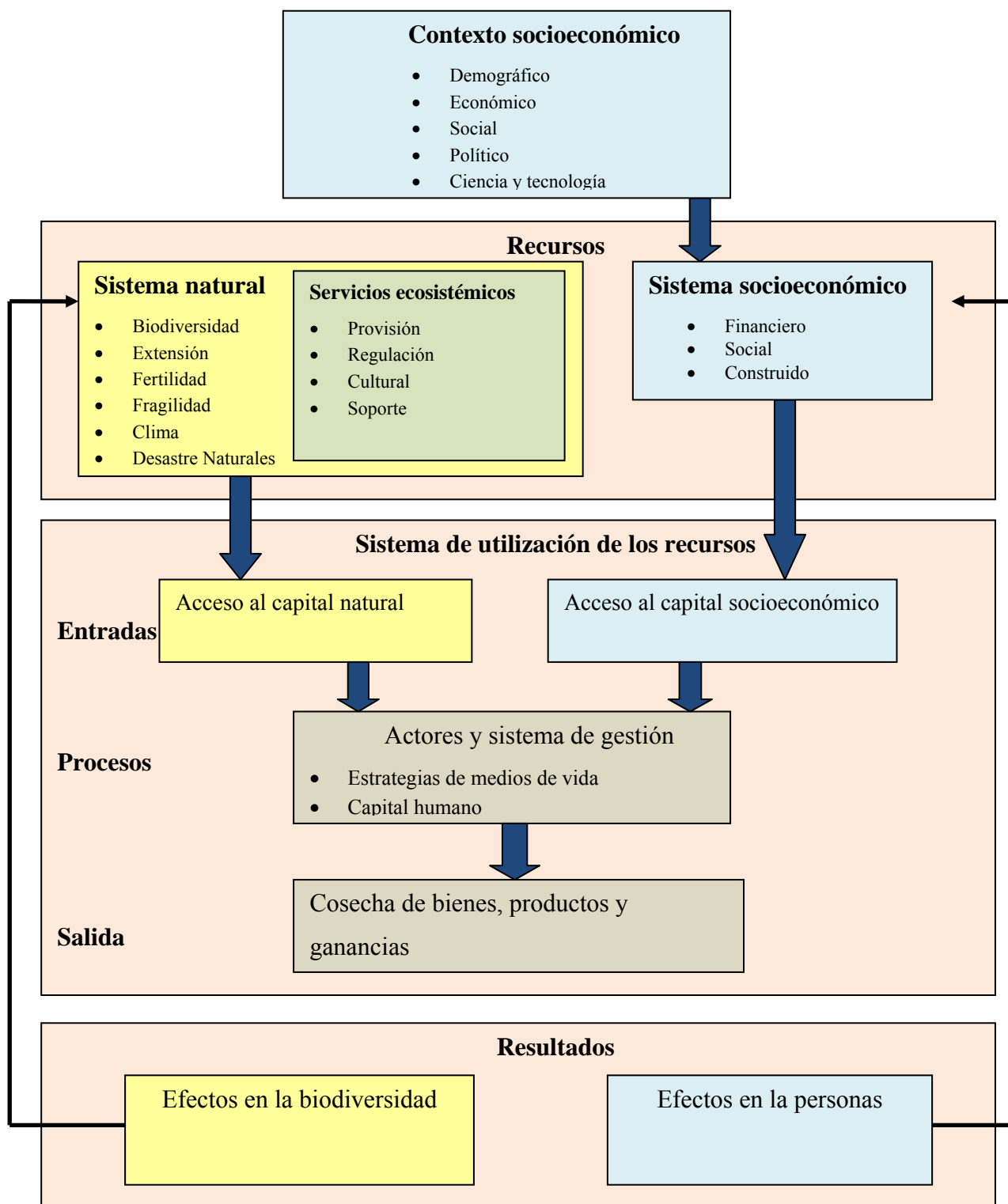


Figura 8. Marco conceptual para entender la relación entre pobreza y biodiversidad en sistemas de producción basados en los recursos naturales a escala subnacional. Fuente: Tekelenburg 2009.

## Equilibrios

Este paso es necesario para saber cuántas dimensiones y equilibrios tiene el sistema de dinámico que se está trabajando, este modelo está compuesto por dos dimensiones y cuatro equilibrios. En la terminología matemática los equilibrios se clasifican en dos tipos los triviales y lo que no lo son en este caso se presentan 3 equilibrios triviales y uno que no lo es.

*Cuadro 2. Clasificación de los equilibrios del primer modelo*

Tipo de equilibrio	S	E
Trivial	0	0
Trivial	0	C
Trivial	0	$\hat{E}$
No Trivial	$\frac{g\hat{s}(c\hat{e} - c\hat{s} - \hat{e}\hat{s} + \hat{s}^2)}{c\gamma\hat{e}}$	$\hat{S}$

### Determinación del tipo de equilibrio

Para la determinación del tipo de equilibrio es construir una matriz con las derivadas parciales con respecto de “s” y “e” con respecto al tiempo de las ecuaciones que integran el sistema, para este modelo el resultado de la matriz Jacobiana es el siguiente:

$$\begin{pmatrix} \frac{ge[t] \left(1 - \frac{e[t]}{\hat{e}}\right)}{c} + g \left(-1 + \frac{e[t]}{c}\right) \left(1 - \frac{e[t]}{\hat{e}}\right) - \frac{ge[t] \left(-1 + \frac{e[t]}{c}\right)}{\hat{e}} & \gamma \\ -\alpha s[t] & \alpha(-e[t] + \hat{s}) \end{pmatrix}$$

Lo que se busca con la realización de la matriz jacobiana es descifrar como ambas funciones se comportan al acercarse al punto de equilibrio, para determinar exactamente este comportamiento se calculan la traza que es la suma de la matriz y el determinante que es el producto de esta, con estos dos elementos se puede definir el tipo de equilibrio del sistema que se analiza.

### Criterios de estabilidad

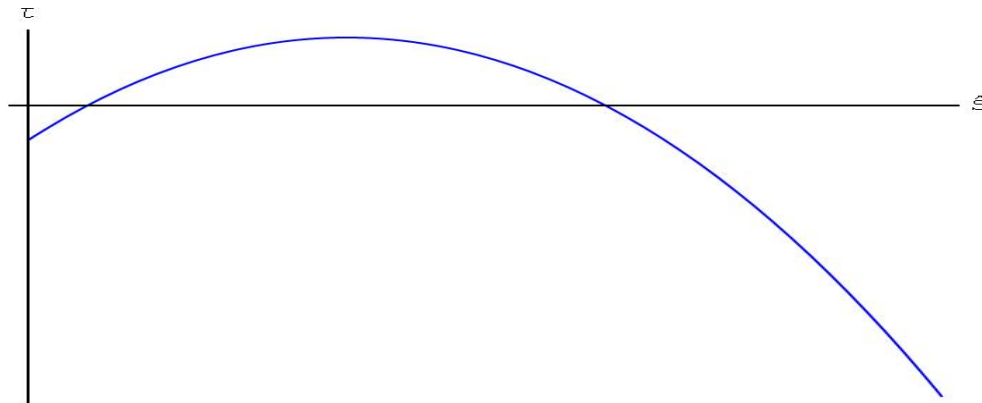
El ejercicio de realizar la matriz Jacobiana es para calcular el determinante y la traza, dependiendo de las condiciones de acuerdo con la figura 2 así se determinarían las condiciones de estabilidad.

## Traza

La traza  $\tau$  es la suma de la matriz jacobina

$$\tau = \frac{g(-c\hat{e} + 2(c + \hat{e})\hat{s} - 3\hat{s}^2)}{c\hat{e}}$$

*Fórmula 6. Traza resultante de la matriz jacobiana del primer modelo*



*Figura 9. Traza del primer modelo.*

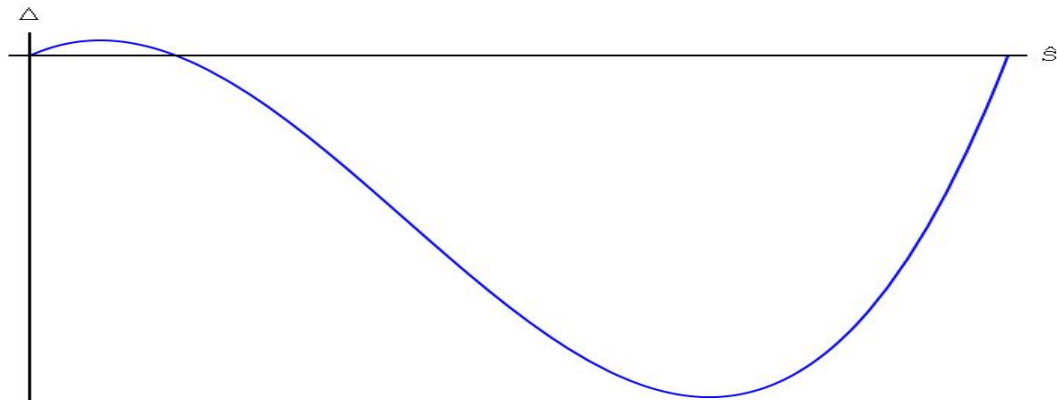
Al inicio de este artículo se han mencionado algunas de las condiciones que puede tomar la traza, en este modelo la traza es negativa como se muestra en la figura 9, pero antes de definir qué tipo de equilibrio hay que ver cuál es el resultado del determinante.

## Determinante

Como se menciona el determinante es el producto de la matriz jacobiana

$$\Delta = \frac{g\alpha(c - \hat{s})(\hat{e} - \hat{s})\hat{s}}{c\hat{e}}$$

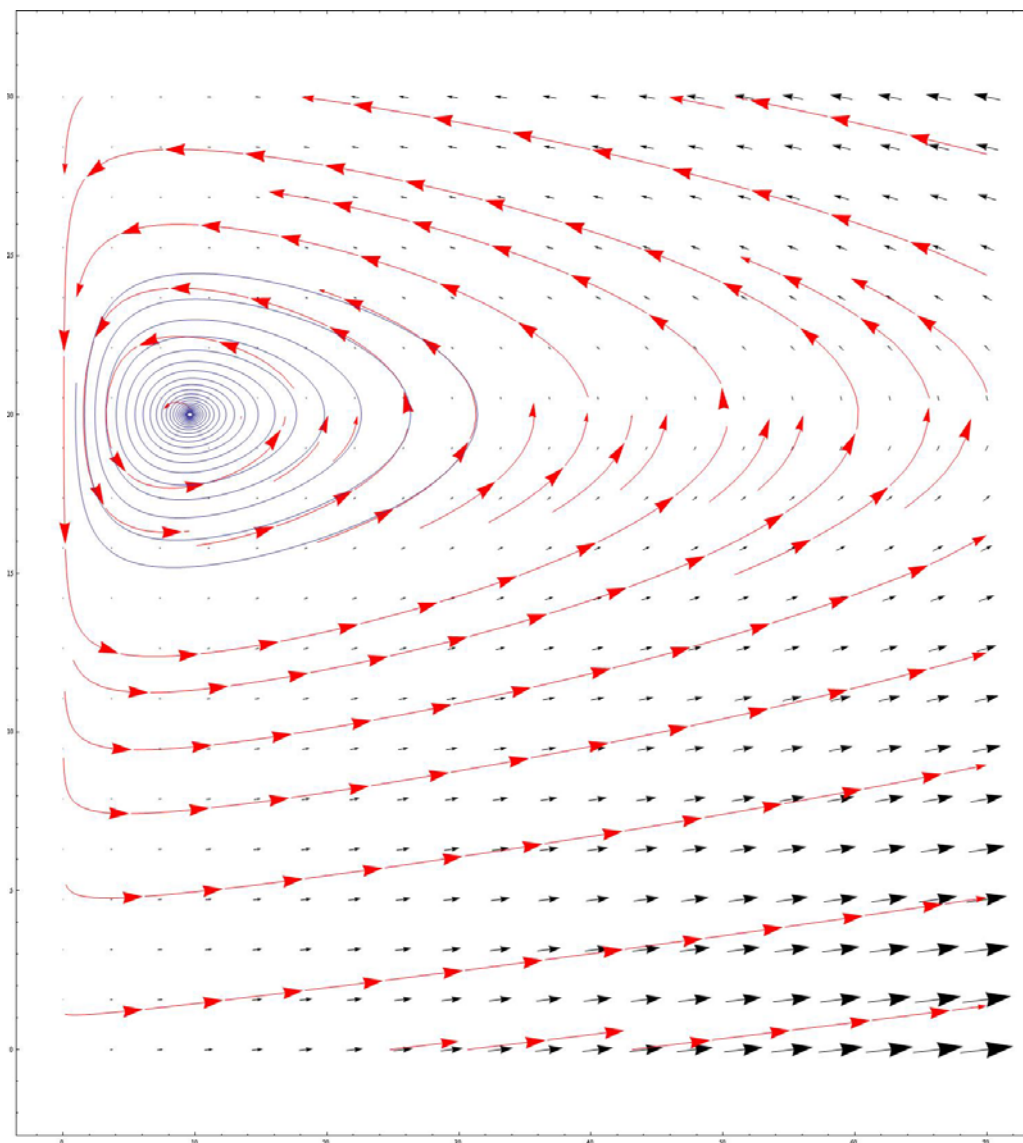
*Fórmula 7. Determinante producto de la matriz jacobiana, primer modelo*



*Figura 10. Determinante del primer modelo.*

Para este ejercicio el determinante es positivo como se observa en la figura 10, con estos dos elementos como lo son la traza y el determinante, facilitan el análisis del equilibrio del sistema. En este caso podemos concluir dado el comportamiento de ambos elementos que el equilibrio es estable.

Asimismo, además de conocer si el equilibrio es estable o inestable, también se debe conocer la forma de este, si se comporta como una espiral, puntos en forma de silla o las demás combinaciones que se presentan en la figura 4.



*Figura 11. Diagrama de fase del capital social y el financiero.*

Como se observa en la figura 11 equilibrio estable del primer modelo toma la forma de una espiral estable, lo que se muestra es que ante cualquier perturbación el sistema siempre va a tender al equilibrio manteniendo la forma de espiral.

### 3.3 Modelo II

En el modelo dos, adicionalmente a las ecuaciones del capital social y el económico (financiero) se agrega el capital humano, este comprende las aptitudes, conocimientos, capacidades laborales y buena salud. A nivel de los hogares, el capital humano es un factor que determina la cantidad y calidad de la mano de obra disponible.

El capital humano aparece en el marco genérico como un activo que influye en los medios de vida, es decir, como un bloque de construcción o medio de obtener logros en materia de medios de vida. Su acumulación puede representar también un fin por sí misma. Muchas poblaciones consideran la insalubridad o la falta de educación como dimensiones fundamentales de su situación de pobreza, por lo que la superación de estas condiciones puede ser uno de sus principales objetivos en materia de medios de vida (DFID 1999).

Una de las maneras de cuantificar este capital es determinando la media de años que un niño asiste a la escuela o el porcentaje de niñas matriculadas en los colegios, asimismo los indicadores de salud, como número de personas atendidas, cantidad de servicios de agua potable y de tratamiento de aguas, se encuentran entre los posibles indicadores (DFID 1999).

La educación formal no es en cualquier caso la única fuente de capital humano basado en el conocimiento. Es igualmente importante llegar a comprender los conocimientos locales y tradicionales existentes, la forma en que éstos se comparten y acumulan y qué propósitos persiguen (DFID 1999).

#### Diagrama de flujo

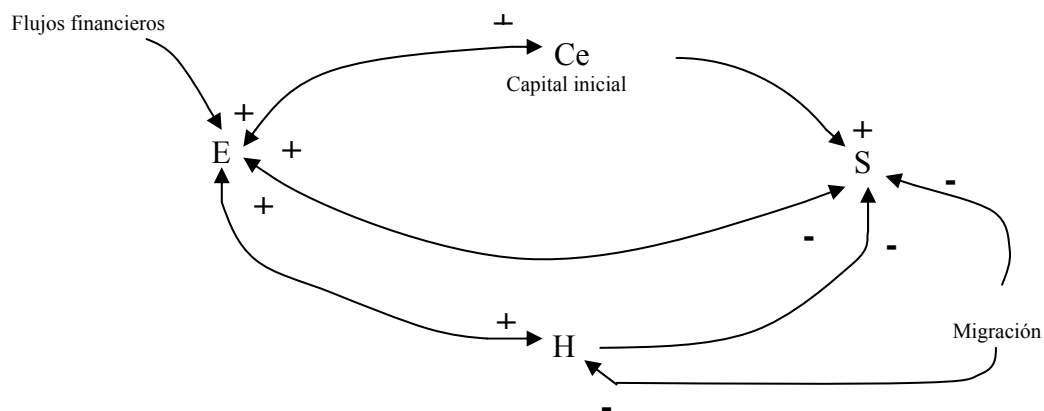


Figura 12. Diagrama causa efecto modelo con tres capitales financiero (E), social(S) y humano (H).

## Ecuaciones

En este modelo se agrega una función que corresponde al capital humano, la cual estará conformada por un componente intrínseco al ser humano y el efecto del capital financiero que se traduce en varias vías por parte del Estado que realiza transferencias a las zonas rurales que se convierten en escuelas centros de capacitación, este aumento de capacidades de la población se convierte en mejores ingresos para las personas beneficiadas con la educación y por ende la siguiente generación podrá subir un peldaño educativo adicional a de sus padres.

En lo que respecta, a la ecuación del capital financiero para este modelo no presenta cambios con respecto al modelo anterior solo se agrega el aporte que el capital humano tiene sobre el financiero, en este caso se asume positivo, primero porque las personas más educadas podrían generar mayores fuentes de ingresos de sus actividades agrícolas debido a sus nuevos conocimientos, segundo las personas que no se logran insertar en la dinámica económica de la zona o cuando el territorio se transforma en exportadora del capital humano este fenómeno genera el envío de dinero por parte de los inmigrantes a su región de origen aumentando el capital financiero de los pobladores que permanecen en la comunidad.

### Capital Financiero

$$\underbrace{\frac{de}{dt}}_{\text{Razón de cambio}} = \underbrace{ge(t)}_{\text{Efecto de los parámetros}} \underbrace{\left(1 - \frac{e(t)}{\hat{e}}\right)}_{\text{Cambio de comportamiento}} \underbrace{\left(\frac{e(t)}{c} - 1\right)}_{\text{Cambio de comportamiento}} + \underbrace{\gamma s(t)}_{\text{Efecto del capital social}} + \underbrace{\rho h(t)}_{\text{Efecto del capital humano}}$$

*Fórmula 8. Ecuación del capital financiero modelo de tres dimensiones*

Donde,

e: es el capital financiero

g: parámetros que conforman el capital (ver cuadro 1)

$\hat{e}$ : un nivel de capital financiero máximo

C: es un capital inducido

$\gamma s$ : es el efecto de los parámetros del capital social sobre el capital financiero

$\rho h$ : es el efecto de los parámetros del capital humano sobre el capital financiero

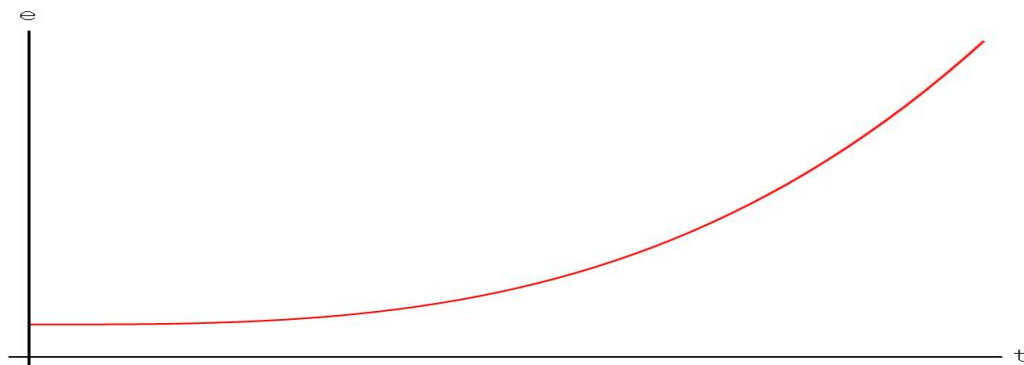


Figura 13. Gráfico capital financiero.

El comportamiento creciente que muestra la función del capital financiero en la figura 13 es por la combinación de los efectos positivos que tienen el capital social y humano, un ejemplo de esto es el cantón de Hojancha en Guanacaste Costa Rica que con el fin de conseguir fondos del Estado se organizaron para que la zona obtuviera la denominación de cantón en 1971 este es un ejemplo de cómo el capital social alcanza objetivos para que la dinámica económica de la una región cambie, asimismo, esta organización social logró consolidar escuelas y colegios lo que podría haber logrado un efecto de incremento en los salarios en esta región y por ende en el capital financiero, este efecto de la educación sobre los rendimientos económicos en el ingreso rural en las actividades agrícolas tradicionales fue explorado por Taylor y Yúnez-Naude (2000) que realizaron un estudio en la zona rural de México.

### Capital social

$$\frac{ds}{dt} = \alpha s(t) (\hat{s} - rh(t))$$

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}$   
 Razón de cambio

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}$   
 Efecto de los parámetros

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}$   
 Cambio de comportamiento

$\underbrace{\hspace{1.5cm}}$   
 Efecto del capital humano

Fórmula 9. Ecuación del capital social modelo de tres dimensiones

Donde,

s: es capital social

$\alpha$ : son el efecto de los parámetro

$\hat{s}$ : capital máximo

h: capital humano

r: efecto de los parámetros del capital humano

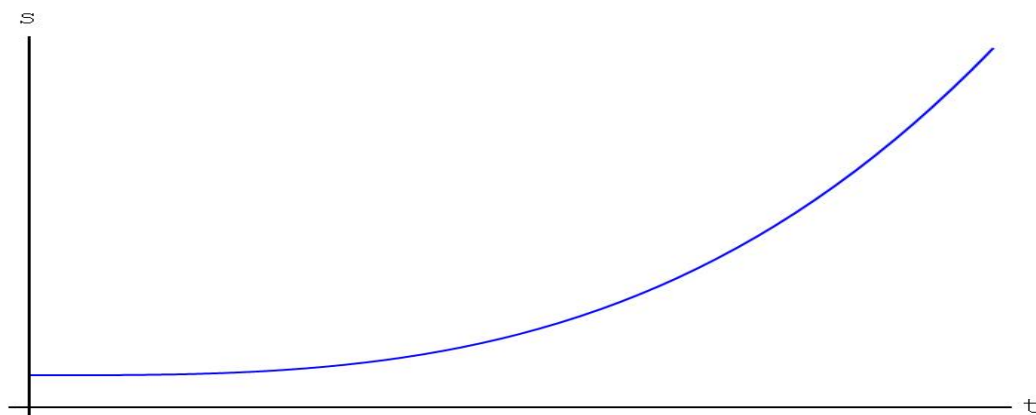


Figura 14. Gráfico capital social.

La figura 14 presenta el comportamiento de la ecuación de capital social, un estudio de caso para comprender como se concibió la función es el de Hojancha donde la formación de la Junta Progresista impulsada por la parroquia genera un crecimiento del incipiente proceso social (Tekelenburg 2009) que resulta en la creación una serie de instituciones y grupos (capital social) para salir de la crisis, asimismo, Campos et al 1993 alude que el proceso de organización en el cantón es debido a la falta de empleo en la zona. No obstante, la ecuación presenta un efecto negativo por parte del capital humano una de las vías una es la emigración ya sea por efectos negativos en la dinámica económica como en el caso de Hojancha cuando se presentó la crisis de los precios de la carne 1970 (Tekelenburg 2009) donde este cantón perdió la mitad de la población, otro caso es cuando la población accede a niveles de educación mayores de los que el sistema puede absorber y migran lo cual podría tener efectos negativos en el capital social.

### Capital Humano

$$\underbrace{\frac{dh}{dt}}_{\text{Razón de cambio}} = \underbrace{\theta}_{\text{Parámetros del capital financiero}} \left( 1 - \underbrace{\frac{e(t)}{d}}_{\text{Cambio de comportamiento}} \right)$$

Fórmula 10. Ecuación del capital humano modelo de tres dimensiones

Donde,

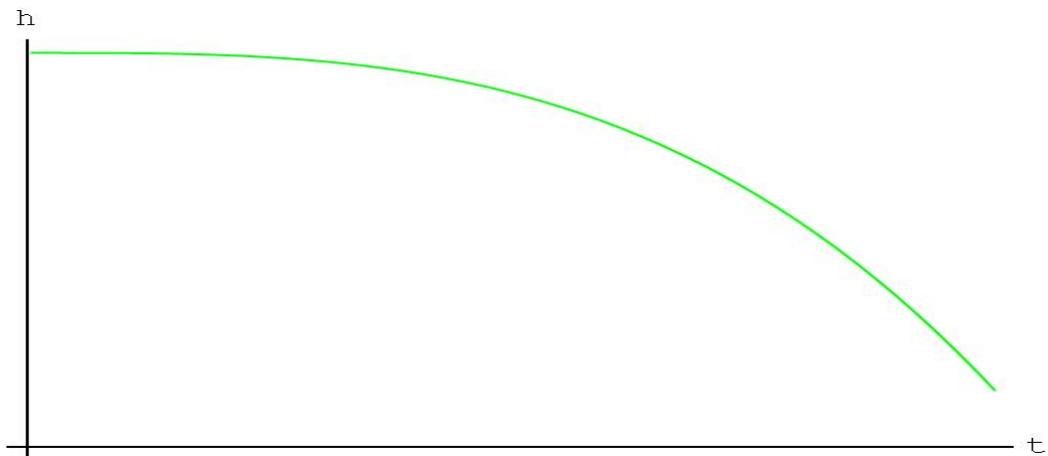
h: es capital humano

$\theta$ : el efecto de los parámetros

e: capital financiero



d: capital financiero máximo que aporta al capital humano



*Figura 15. Gráfico capital humano.*

En la figura 15 se presenta la función del capital humano el supuesto detrás de esto es que el efecto del capital financiero (sistema económico) en un inicio impulsa la formación de capital humano por la generación de escuelas y colegios lo cual mejora el ingreso de los ciudadanos de la zona y facilitando que el núcleo familiar acceda a niveles de escolaridad más altos, no obstante cuando las personas tiene oportunidades de formación formal o informal podrían verse tentadas a movilizarse de su zona de origen como lo exponen Lema y Casellas 2009 que explican como la educación a pesar de mejorar los ingresos de las familias de las zonas rurales en Argentina, también tiene otro efecto el cual es que las personas con mayor educación buscan mejorar su ingresos y como la zona rural no les brinda las mejores condiciones migran a zonas urbanas por los diferenciales en el ingreso, es por esto que la función tiene forma decreciente.

### **Supuesto**

- Para el modelo aún es válido el Marco conceptual para entender la relación entre pobreza y biodiversidad en sistemas de producción basados en los recursos naturales a escala subnacional, figura N°6 (Tekelenburg 2009).
- Para el capital humano lo que indica la ecuación es que intrínseca al ser humano que esto lo menciona DFID, asimismo Becker (1964) define este capital como el conocimiento y habilidades desarrolladas por las personas mediante la escolaridad y la experiencia, y que el capital financiero aporta a este hasta un máximo esto se observa en la construcción de escuelas, colegios y el aumento de ingresos que permite a los hijos a obtener un mayor nivel

educativo, pero después son expulsados por el sistema económico de la región no los puede absorber.

- Si se invierte en el capital humano de la forma tradicional donde la educación no es un eje esencial de un desarrollo inclusivo y sostenible socialmente el efecto de esta inversión en este capital tendrá un efecto negativo sobre el capital social. Un ejemplo de esto es lo que sucede en la actualidad donde por las características de labores agrícolas como la estacionalidad y que sus retornos se caracterizan por ser constantes a escala para la tierra y capital, esto hace que un trabajador calificado enfrenta una demanda por sus servicios relativamente inelástica, mientras que en el sector no agropecuario no lo es, cuando las personas perciben estas diferencias, migran para mejorar sus ingresos (Lema y Casellas 2009).
- Otro elemento por el cual cuando el capital humano crece más allá de las posibilidades del entorno tiene un efecto negativo sobre el capital social, un ejemplo de ello es la migración que es un factor que afecta negativamente a las zonas rurales y esta se explica por concentración de la propiedad agrícola, el rezago productivo de la agricultura familiar y la marginación del campo de avances vinculados a la modernización (Huffman 1999).
- Otro factor por el cual el capital humano tiene un efecto negativo sobre el capital social, porque la inversión en educación formal de unos 3 a 4 años, tiene impactos en el estilo de vida y en aspectos como la productividad laboral y tasas de salario, así como decisiones en las ocupaciones escogidas, la zona geográfica donde habiten, la adquisición de información y tecnología (Huffman 1999).
- Las personas que migran no solo envían remesas monetarias, si no que cuando regresan a sus ciudades de origen ya sea de vacaciones o a radicar, traen consigo los patrones culturales positivos o negativos del lugar donde han estado viviendo, lo cual puede variar los patrones de su familia y de la comunidad (Levitt 1996).
- El efecto positivo del capital humano sobre el financiero, se explica por dos vías por el aumento de ingreso y por los migrantes envían a sus familias que se mantienen viviendo en su lugar de origen dinero (remesas), es por esto que el

impacto de las remesas depende del uso que estas realicen con estos fondos (Rosemberg 2006).

## Equilibrios

Cuadro 3. Clasificación de los equilibrios del modelo de tres dimensiones

Equilibrio	S	E	H
1	0	d	$\frac{dg(-cd + d^2 + c\hat{e} - d\hat{e})}{c\rho\hat{e}}$
2	$\frac{dg - \frac{d^2g}{c} - \frac{d^2g}{\hat{e}} + \frac{d^3g}{c\hat{e}} - \frac{\rho\hat{s}}{r}}{\gamma}$	d	$\frac{\hat{s}}{r}$

### Determinación del tipo de equilibrio

Para analizar los equilibrios del sistema de ecuaciones que se muestran en el cuadro 3, el análisis a utilizar va a ser diferente al que se utilizo en el primer, debido a que el examen anterior donde se utiliza la traza y el determinante como parámetro de descripción del comportamiento de la función en el equilibrio no aplica para los modelos de tres dimensiones en adelante.

### Criterios de estabilidad

Para este modelo de tres dimensiones se va a utilizar el criterio de Routh Hurwitz para determinar el tipo de equilibrio.

Polinomio característico del primer equilibrio del modelo

$$0 = \lambda^3 + \lambda^2 dg \left( -\frac{2}{c} - \frac{2}{\hat{e}} + \frac{3d}{c\hat{e}} \right) + \frac{\lambda\theta\rho}{d} + \alpha\theta \left( -\frac{dgr}{\hat{e}} - \frac{d^2gr}{c\hat{e}} + \frac{\rho\hat{s}}{d} \right)$$

Fórmula 11. Polinomio característico del primer equilibrio

$$0 = \lambda^3 + \lambda^2 \left( -\frac{2dg}{c} + \frac{dgr}{c} - d^2gr\alpha - \frac{2dg}{\hat{e}^2} + \frac{3d^2g}{c\hat{e}} + \frac{d^3gr\alpha}{c\rho\hat{e}} - \alpha\hat{s} \right) + \lambda \left( -3d^2g^2r\alpha + \frac{2d^3g^2r\alpha}{\rho\hat{e}^2} - \frac{5d^4g^2r\alpha}{c\rho\hat{e}^2} + \frac{3d^5g^2r\alpha}{c^2\rho\hat{e}^2} - \frac{3d^2g^2r\alpha}{c\rho\hat{e}} - g\alpha\hat{s} + \frac{2dga\hat{s}}{c} + \frac{2dga\hat{s}}{\hat{e}} - \frac{3d^2ga\hat{s}}{c\hat{e}} \right) + \alpha\theta \left( \frac{\rho\hat{s}}{d} + \frac{dgr}{\hat{e}} + \frac{d^2gr}{c\hat{e}} - gr + \frac{dgr}{c} \right)$$

Fórmula 12. Polinomio característico del segundo equilibrio

Para ninguno de los equilibrios se cumplen los criterios de estabilidad este teorema, por lo tanto, el sistema presenta un equilibrio inestable. En la figura 15 se muestra de modo ilustrativo el comportamiento del modelo en conjunto.

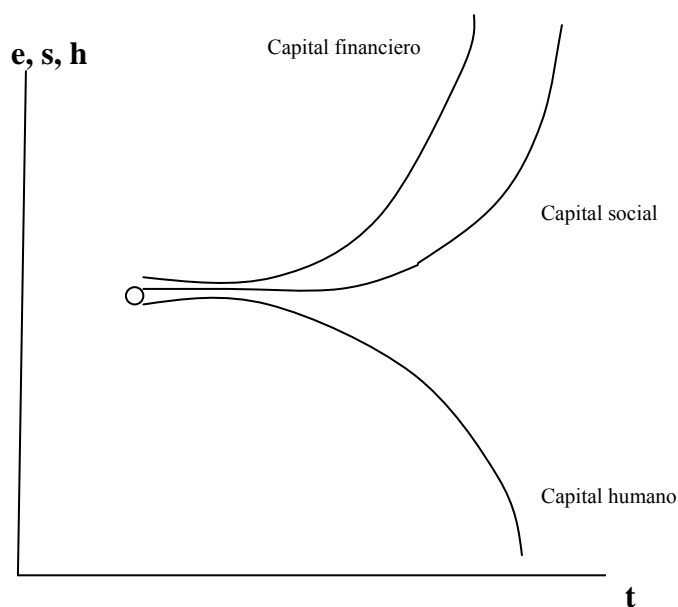


Figura 16. Gráfico ilustrativo del equilibrio del modelo 2.

### 3.3.1 Modelo III

Este modelo combina los cuatro capitales, la ecuación del capital natural está compuesta por el factor de recuperación del mismo y por las relaciones de competencia que existen entre el capital físico y el capital financiero.

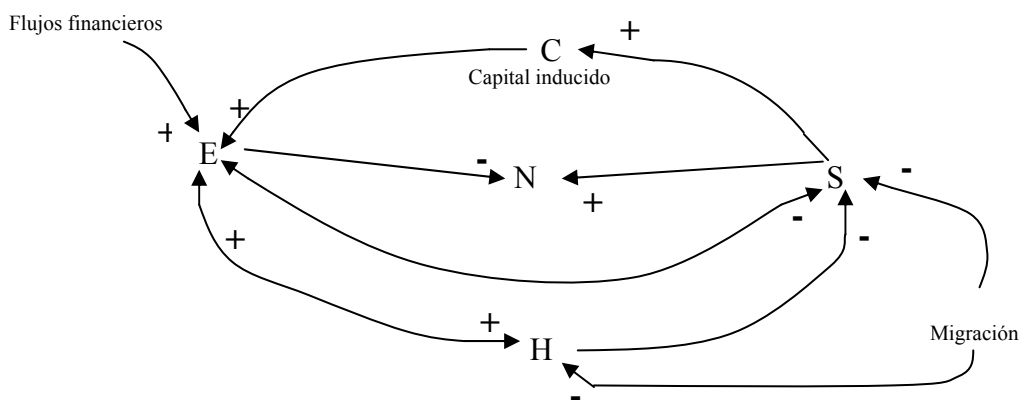


Figura 17. Gráfico causa efecto, capital financiero (E), capital natural (N), capital social (S), capital humano (H).

Capital natural es el término utilizado para referirse a las partidas de recursos naturales de las que se derivan los flujos de recursos y servicios (por ejemplo, ciclos de nutrientes,

protección de la erosión, agua, madera, productos no maderables del bosque, biodiversidad, polinizadores) útiles en materia de medios de vida. Existe una amplia variedad de recursos que constituyen el capital natural, desde bienes públicos intangibles como la atmósfera y la biodiversidad hasta activos divisibles utilizado directamente en la producción (árboles, tierras, etc.) (DFID 1999).

El capital físico comprende las infraestructuras básicas y los bienes de producción necesarios para respaldar a los medios de vida (DFID 1999).

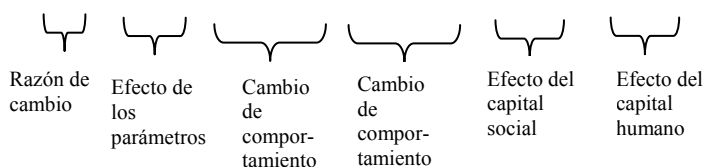
- Las infraestructuras consisten en los cambios en el entorno físico que contribuyen a que las poblaciones obtengan sus necesidades básicas y sean más productivas.
- Los bienes de producción son las herramientas y equipos que utilizan las poblaciones para funcionar de forma más productiva.

### Ecuaciones

En esta sección se presentan las cuatro ecuaciones que representan todos los sistemas que interactúan en un territorio rural, con este sistema de ecuaciones se pretende explicar las complejas relaciones que definen el concepto de capacidad de carga que está investigación, busca plantear.

### Capital Financiero

$$\frac{de}{dt} = g e(t) \left(1 - \frac{e(t)}{\hat{e}}\right) \left(\frac{e(t)}{c} - 1\right) + \gamma s(t) + \rho h(t)$$



*Fórmula 13. Ecuación capital financiero*

Donde,

e: es el capital financiero

g: parámetros que conforman el capital (ver cuadro 1)

$\hat{e}$ : un nivel de capital financiero máximo

C: es un capital financiero inicial

$\gamma s$ : es el efecto de los parámetros del capital social sobre el capital financiero

$\rho h$ : es el efecto de los parámetros del capital humano sobre el capital financiero

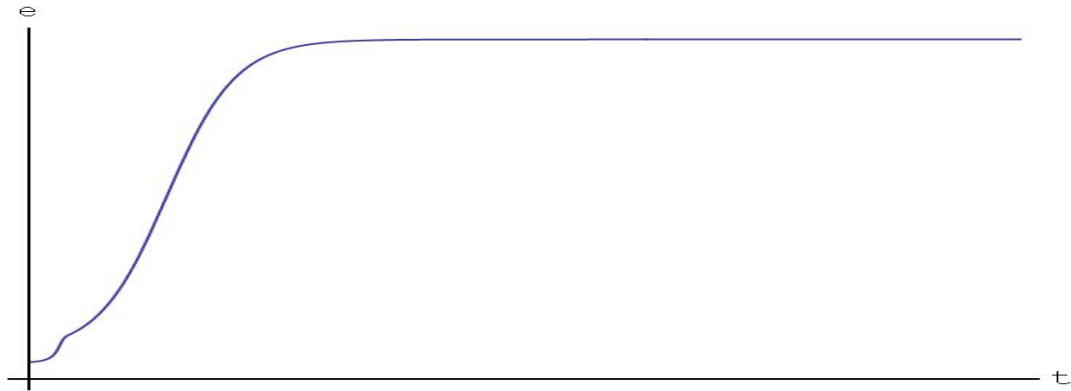


Figura 18. Gráfico capital financiero.

La figura 18 muestra la función del capital financiero, debido a que el modelo esta acoplado los efectos de las tres ecuaciones del modelo son importantes en definir la forma funcional es por esto que en los dos modelo anteriores la forma de la función cambia, no obstante muchos de los supuestos continúan siendo válidos ya que la ecuación no ha cambiado mucho desde el primer modelo, es por esto que se puede seguir utilizando el caso de Hojancha como ejemplo, el auge en el crecimiento económico producto de las actividades agropecuarias genero una presión importante sobre los recursos naturales, sin embargo, ante el colapso en el mercado de la carne la sociedad se organiza en torno a sus recursos naturales generando procesos de recuperación lo cual creo más opciones de ingresos para la comunidad como mercados diferenciados en el café, actividad turística, ingresos por pagos por servicios ambientales y venta de madera.

### Capital Social

$$\underbrace{\frac{ds}{dt}}_{\text{Razón de cambio}} = \alpha \underbrace{s(t)}_{\text{Efecto de los parámetros}} \underbrace{(\hat{s} - r)}_{\text{Cambio de comportamiento}} \underbrace{h(t)}_{\text{Efecto del capital humano}}$$

Fórmula 14. Ecuación capital social

Donde,

s: es capital social

$\alpha$ : son el efecto de los parámetro

$\hat{s}$ : capital máximo

h: capital humano

r: efecto del capital humano sobre el social



Figura 19. Gráfico capital social.

La figura 19 presenta un comportamiento creciente del capital social y luego un descenso hasta que se estabiliza esto es usual en las zonas rurales que ante algún tipo de crisis el capital humano se organiza y genera o fortalece el capital social, por otro lado el descenso y eventual estabilización es que cuando la crisis es superada algunas instituciones desaparecen o se ven minimizadas, un ejemplo de esto se observa en el departamento de Chalatenango en El Salvador donde se crearon 2 instituciones debido a una crisis ambiental que se presentó en la zona, uno fue el Comité Ambiental de Chalatenango (CACH) y el Comité Interinstitucional del Humedal Cerrón Grande que antes no existían, en Hojancha también ante la crisis de los precios de la carne se crearon varias instituciones algunas persisten y otras desaparecen entonces esto muestra que ante crisis el capital social crece para luego estabilizarse una vez superada la dificultad.

### Capital Humano

$$\underbrace{\frac{dh}{dt}}_{\text{Razón de cambio}} = \underbrace{\theta}_{\text{Parámetros}} \left( \underbrace{1 - \frac{e(t)}{d}}_{\text{Cambio de comportamiento}} \right) h(t)$$

Fórmula 15. Ecuación capital humano

Donde,

h: es capital humano

$\theta$ : el efecto de los parámetros del capital financiero

d: capital financiero máximo que incide en el capital humano

e: capital financiero

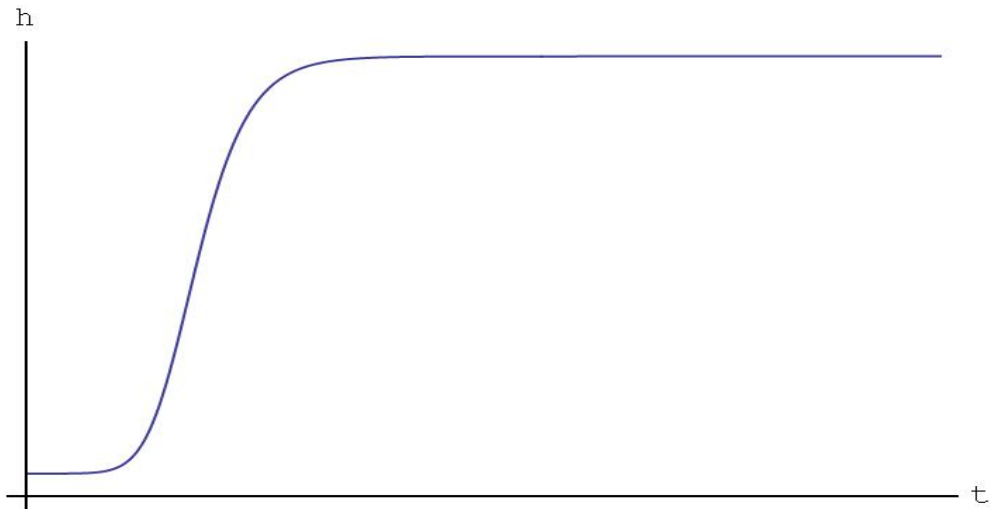


Figura 20. Gráfico capital humano.

En la ecuación 15 a diferencia de la ecuación 10 del modelo II el capital humano se encuentra dentro de la misma y cambia en el tiempo, lo anterior con el fin de plantear una situación más real. Por lo demás la ecuación reacciona a los mismos aspectos de la del modelo anterior, no obstante como el modelo es acoplado el comportamiento de la función es afectado por la interacción de los demás capitales y esto hace que se ajuste a los ejemplos citados.

### Capital natural

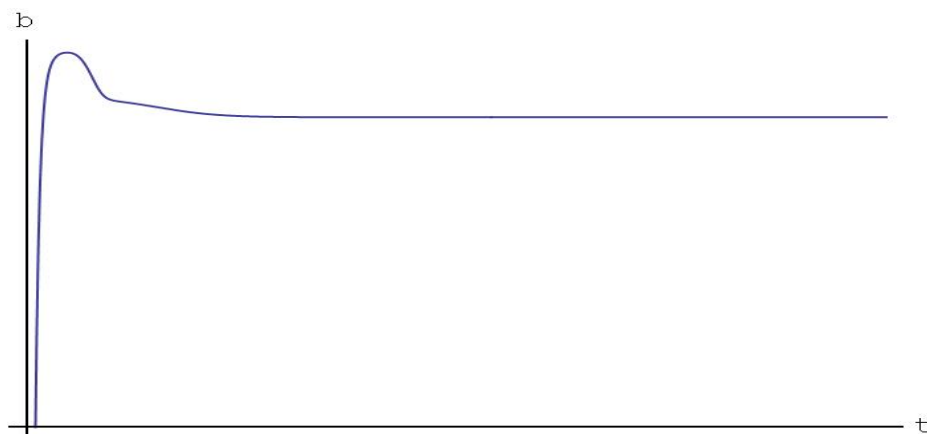
$$\underbrace{\frac{db}{dt}}_{\text{Razón de cambio}} = \underbrace{\left(1 - \frac{b(t)}{\hat{b}}\right)}_{\text{Cambio de comportamiento}} + \underbrace{qs(t)}_{\text{Efecto del capital social}} - \underbrace{ve(t)}_{\text{Efecto del capital financiero}}$$

### Fórmula 16. Ecuación capital natural

Donde,

- b: es el capital natural
- $\hat{b}$ : capital natural máximo
- s: capital social
- q: efecto del capital físico
- e: capital financiero
- v: efecto del capital financiero





*Figura 21. Gráfico capital natural.*

La ecuación 16 y la figura 21 tratan de explicar la relación del capital natural en el modelo, esto se puede visualizar en el estudio de caso de Ochagavía 2010 donde se presenta lo sucedido en una comunidad del Salvador, el Estado decide construir un embalse lo cual genera impactos a nivel ambiental y social por el desplazamiento de los ciudadanos y un cambio brusco en el ambiente original, debido a esto se crea el Comité Ambiental de Chalatenango (CACH) en 1995 y el Comité Interinstitucional del Humedal Cerrón Grande en el año 2000.

Estos comités se enfocaron en que las comunidades se apropiaran de los recursos naturales con miras de buscar estrategias para combatir la pobreza viendo en la recuperación del ecosistema oportunidades para generar empleo y mejores ingresos. Un caso similar sucede en Hojanca con la caída de los precios de la carne y la posterior recuperación de los ecosistemas y la implementación de prácticas amigables con el medio ambiente que resultaron en mejores ingresos para los ciudadanos (Tekelenburg 2009).

### **Supuesto**

- La ecuación del capital natural define que el capital natural llega a un máximo que será definido por el tipo de ecosistema así será su grado de recuperación, por ejemplo en el caso de Hojanca los ecosistemas originales son medianamente sensibles a la degradación por el uso humano, esto debido a que son de origen volcánico y las pendientes no son muy pronunciadas (Tekelenburg 2009).
- El efecto negativo del capital financiero se nota en este caso donde la conversión de bosques en áreas agrícolas causó una pérdida significativa de la biodiversidad en Hojanca, esto impulsado por el auge en la demanda de carne la consecuencia de la práctica de esta práctica y del crecimiento poblacional, la

cobertura de bosque bajó a poco menos de un 20% y la productividad e ingreso por hectárea disminuyeron debido a la pérdida de fertilidad de la tierra (Tekelenburg 2009).

- Un caso donde se observa el efecto positivo del capital social sobre el natural es el del embalse de Cerrón Grande en Chalatenango, El Salvador, donde la población se organizo alrededor de los elementos ambientales y la apropiación de los recursos, esto los llevo a ver que la recuperación del sistema tenía muchas posibilidades de generar nuevas estrategias de vida (Ochagavía 2010).
- El efecto positivo del capital natural está basado en los modelos tradicionales de crecimiento económico que están basados en el uso de uno o más activos (capital natural) para crear bienes para el consumo.

### ***3.3.2 Propósito del modelo***

El problema de estudio en esta investigación es la capacidad de carga y su estado de definición actual que tiene vacios conceptuales como pensar en un  $K$  fijo y que este factor sea el que determine un límite superior e inferior para el crecimiento de una población animal o humana, adicionalmente los modelos propuesto de capacidad carga son cerrados lo cual hace que el límite en la población que la concepción actual contempla podría ser subestimado porque no contempla la importación o exportación de capacidad de carga entre territorios u otros factores externos que interactúan con el sistema y pueden cambiar los niveles de  $k$ .

La coevolución de subsistemas que definen la capacidad de carga de una población rural en este estudio, debería constituirse como una herramienta para gestionar la utilización optima de los recursos (capitales) con los que cuenta la comunidad para alcanzar ciertos niveles mínimos de bienestar humano. Una definición bienestar es la que se presenta en el informe del GEO-4 donde se menciona que bienestar es el grado en el que los individuos tienen la capacidad y la oportunidad de vivir un tipo de vida que creen que vale la pena.

Entre las variables que dicho informe sugiere son la seguridad personal y del medioambiental, acceso a materiales para una buena vida, una buena salud y unas buenas relaciones sociales, estos puntos se relacionan con la libertad de elegir y actuar. Otros factores importantes en el análisis del bienestar incluyen la pobreza, la desigualdad de género. Asimismo, en el primer Informe de Desarrollo Humano (1990), menciona tres oportunidades en las que se centra dicho documento para definir bienestar las cuales son, el nivel de ingresos,

equidad, crecimiento y ambiente. En conformidad a lo anterior, la modelación teórica realizada en este estudio se debe expresarse en una herramienta de gestión la cual debe alcanzar al menos niveles mínimos de ingresos, equidad, seguridad, salud, relaciones sociales y ambiente.

En síntesis, esta investigación propone que el concepto de capacidad de carga es un punto de equilibrio de un sistema dinámico que es el resultado de la interacción de los subsistemas, rompiendo con la concepción actual e integrando el esquema de la teoría de los capitales con el fin de visualizar como los mecanismos que ocurre en las comunidades afectan su capacidad de carga en el tiempo y como esto los puede sacar de su senda de desarrollo.

### ***3.3.3 Limites del modelo***

La investigación lo que busca es explorar el concepto de la capacidad carga utilizando el enfoque de la dinámica, esta metodología tiene sus limitaciones:

- Las ecuaciones contienen parámetros que podrían ser difícilmente determinado o ajustados a indicadores reales.
- La metodología rápidamente gana intractabilidad
- Es un modelo cualitativo
- Las condiciones iniciales son desconocidas

## **3.4 Conclusiones**

El concepto de capacidad de carga utilizado para las poblaciones humanas donde se recurre a una ecuación de crecimiento logístico, donde  $k$  es el factor ambiental limitante, ya sea este la productividad de los suelos, la disponibilidad de materias primas (minerales), o que este  $k$  sea un nivel social deseado. Todas estas definiciones tienen un error conceptual que es pensar que  $k$  es estático o que presenta cambios discretos en el tiempo debido al avance tecnológico, lo cual es teóricamente una herramienta que facilita el análisis, pero empíricamente es vacío.

Otro error al utilizar modelos de este tipo es pensar que los sistemas son cerrados que no hay flujos que entran o que salgan del sistema que cambien aspectos tales como, tasas de crecimiento de la población, patrones de consumo, utilización de los recursos de otras áreas lo que se podría denominar como importación de la capacidad de carga de una zona a otra,

cambios culturales, tasas de asimilación de la tecnología. Estos modelos han sido promovidos por la necesidad del Estado de organizar una variedad de aspectos como para impuestos, para la gestión de recursos, planeamiento, organización del transporte, comunicaciones y la conservación.

Las deficiencias conceptuales sobre el tema de capacidad de carga en la actualidad son uno de los motores para realizar la presente investigación, donde se desea proponer una visión conceptual diferente a la de los enfoques actuales y por esto se escogió como marco teórico los capitales de la comunidad que al ser un enfoque sistémico involucra los diferentes sistemas en que se desenvuelven las personas, por ende todas las relaciones causa y efecto que este sistema u sistemas se dan afectan la capacidad de carga.

Los modelos aquí planteados son una primera aproximación al problema de cuantificar la capacidad de carga de forma más integral, el desarrollo de estos en el artículo es un esfuerzo por formalizar los principales mecanismos que la literatura relacionada con la teoría de los capitales y medios de vida expone, las ventajas de formalizar estos mecanismos o expresarlos matemáticamente es la posibilidad que cualquier hipótesis o supuesto que se formule puede ser sujeto de revisión y crítica.

Los modelos desarrollados en su forma actual no son del todo satisfactorios, por el carácter de la investigación y las limitaciones que presenta un análisis de este tipo. Para realizar un acercamiento operativo se deben tener claros los límites de la metodología y de los datos, otro factor en el éxito es la selección de la unidad común.

La importancia, del análisis realizado en esta investigación es cambiar la percepción de lo que involucra el concepto capacidad de carga, a una visión más amplia donde esta concepción es un punto de equilibrio estable o inestable de un sistema dinámico, lo cual tiene una serie de implicaciones, en los objetivos del concepto como la gestión, planificación, distribución y uso de los recursos. Las acciones que se deben tomar ante la presencia de cada tipo de equilibrio van a depender de los objetivos sociales. Algunas preguntas que surgen de este ejercicio son:

- ¿Cabe una definición como la propuesta dentro del tema de capacidad de carga?
- ¿La interacción de los capitales como es y cómo se puede explorar?
- ¿Cómo serán los parámetros seleccionados?
- ¿Cuál es el comportamiento de los parámetros?

En síntesis, entender a la capacidad de carga como un equilibrio en un sistema dinámico conlleva la posibilidad de poder acercarnos a la realidad de los territorios donde todos los elementos que interactúan en él están en constante evolución y comprender el equilibrio igual cambia.

### 3.5 Bibliografía

- Albin, S. 1997. Building a System Dynamics Model (en línea). Massachusetts Institute of Technology. Estados Unidos de America. Consultado 15 nov. 2009. Disponible en <http://sysdyn.clexchange.org/sdep/Roadmaps/RM8/D-4597.pdf>
- Becker, G, S. 1964. Human Capital: A theoretical and empirical analysis, with special reference to education. New York Columbia University Press. USA. New York. 200p.
- Campos, O; Rodríguez, E; Ugalde, L. 1992. Desarrollo agropecuario sostenible en la región de Hojancha, Guanacaste, Costa Rica. Turrialba, CR. 36p.
- Chambers, R., Conway, G. 1991. Sustainable rural livelihoods practical concepts for the 21<sup>st</sup> century. Institute of Development Studies. ISBN 0 9037 15 58 9. 33p.
- De Camino, R, Galvao, A. s f. Manejo integrado de recursos naturales para la agricultura y el desarrollo sostenible. Elementos para un marco conceptual. IICA.
- De Vires, G., Hillen, T., Levis, M., Li, M., Muller, J., Schonfisch, B. 2003. A short course in Mathematical Biology.
- DFID(Development For International Development).1999. Hojas orientativas sobre los medios de vida sostenible. Reino Unido. 100p.
- Folke, C. 2006. Resilience: The emergence of a perspective for social- ecological systems analyses. *Global Environmental Change* 16:16p.
- Goodman, MR. 1974. Study notes in system dynamics. Massachusetts, Wright-Allen Press, Inc. 377p.
- Holling, CS; Schindler, DW; Walker, BH; Roughgarden, J. 1995. Biodiversity in the functioning of ecosystems: an ecological primer and synthesis. In: Perrings, C., Maler, K.-G., Folke, C., Holling, C.S., Jansson, B.-O. (Eds.), *Biodiversity Loss: Ecological and Economic Issues*. Cambridge University Press, 44-83 p.
- Huffman, W, E. 1999. Human Capital: Education and agriculture. *Handbook of Agricultural Economics*. Iowa, USA. Iowa State University. 58p.
- Lema, D., Casellas, K. 2009. Retornos a la educación en zonas rurales. *Anales de la reunión de la Asociación Argentina de Economía Política*. Mendoza, Argentina. 26p. Consultado. 20 oct. 2010. Disponible en [www.ucema.edu.ar/conferencias/download/2009/09.25.pdf](http://www.ucema.edu.ar/conferencias/download/2009/09.25.pdf).
- Levit, P. 1996. Social Remittances: A conceptual tool for understanding migration and development. Harvard Center for population and Development studies Working paper

- N°96. USA. 34p. Consultado 14 sept. 2010. Disponible en [www.hsph.harvard.edu/hcpds/wpweb/96\\_](http://www.hsph.harvard.edu/hcpds/wpweb/96_)
- Meadows, D; Meadows, D; Randers, J; Behrens. 1972. Los límites del crecimiento. Ed. e ed. D.F, Mexico, Fondo de Cultura Económica. 253p.
- Ochagavía, A. 2010. Ganando protagonismo en las dinámicas territoriales. *Equitierra* 6:11-15.
- Rosemberg, C. 2006. Impacto económico de las remesas internacionales en Perú. Una aproximación nacional y local. Informe final del concurso: Migraciones y modelos de desarrollo en América Latina y el Caribe. Programa de Becas CLACSO. 32p.
- Sayre, NF. 2008. The Genesis, History, and Limits of Carrying Capacit. *Annals of the Association of American Geographers* 98(1):14p.
- Simon, W. 1986. *Mathematical Techniques for Biology and Medicine*. New York, USA, Dover Publications. 295 p.
- Singh, SJ; Grunbuhel, CM. 2003. Environmental relations and biophysical transition: The case of Trinket island. *Geografiska Annaler. Series B, Human Geography* 85(4):191-208p.
- Singh, S.J. 2006. Sustainable developmente of the Indian Himalayan region: Liking ecological an economic concerns. *Banaras Hindu. Current Science* 90(6):5p.
- Strogatz, SH. 1994. *Non linear Dynamics and chaos with applications to physics, biology, chemistry and engineering*. Perseus Books Publishing. 505'p.
- Taylor, Edward J. y Antonio Yúnez-Naude (2000), "Selectivity and the returns to schooling in a diversified rural economy", *American Journal of Agricultural Economics*, pp. 287-297.
- Tekelenburg, T. 2009. How do biodiversity and poverty relate? – An explorative study. Holanda. The Netherlands Environmental Assessment Agency. 98p. Disponible en [www.pbl.nl/en](http://www.pbl.nl/en).
- United Nations Environment Programme (UNEP), Division of Early Warning and Assessment (DEWA), Head, Global Environment Outlook (GEO) Section. 2007. GEO-4. Boletín informativo 2. Bienestar Humano y el Medio Ambiente. 2p.

## 4 ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN III

### Implicaciones de los modelos

#### 4.1 Introducción

La ruralidad actualmente atraviesa una serie de retos que son producto de las tendencias globales así como locales, estos desafíos hacen necesario comprender las variables involucradas y sus interacciones en estos espacios. La intención de este artículo no es profundizar en los aspectos matemáticos de las ecuaciones presentadas en el artículo *Modelos de la propuesta de capacidad de carga*, en el presente análisis de *Implicaciones de los modelos* lo que se busca es de una manera simple modelar escenarios para visualizar los cambios que podrían suceder en los sistemas.

Este desarrollo de escenario es desde la perspectiva que todas las relaciones son como se plantean en las ecuaciones del modelo a utilizar, el propósito es lograr observar como el modelo reacciona ante cambios inducidos; esto con el fin de entender las posibilidades de una herramienta de este tipo para evaluar las implicaciones en el sistema de la toma de decisiones.

En síntesis, el propósito de esta última sección es desarrollar y analizar una serie de escenarios posibles que suceden en los territorios rurales. Solo se va a utilizar el primer modelo que está compuesto por dos subsistemas el social y financiero, debido a que en este el análisis con herramientas gráficas es posible a nivel de ecuaciones individuales y en general a todo el sistema por medio de los gráficos del equilibrio. La aplicación de los otros modelos deberá ser materia de la continuación del estudio de estas herramientas.

#### 4.2 Implicaciones de política

El análisis de un sistema mediante la dinámica es una herramienta útil para comprender como una realidad compleja cambia a lo largo del tiempo. La disciplina que estudia este fenómeno trata de analizar la interdependencia de las diferentes variables de un sistema para llegar a intuir cual es la estructura fundamental del problema (Skartveit et ál. 2003) y eventualmente, a través de intervenciones de políticas influir sea en su funcionamiento en un período o en la modificación de su estructura.



El hecho de poder contar con un modelo de este tipo para el análisis y gestión de la capacidad de carga de los territorios rurales, presentaría a los planificadores sociales un instrumento donde podrían examinar resultados probables de sus intervenciones.

#### **4.2.1 Simulaciones**

Para las simulaciones se va a utilizar el primer modelo que tiene dos ecuaciones una para el capital social y la otra la del financiero, esto porque como este modelo solo tiene dos dimensiones lo cual facilita el análisis gráfico de los efectos de cambios en el sistema o intervenciones de política en alguno de los dos capitales que conforman el modelo, asimismo, el trabajar con el primer modelo del artículo *Modelos de la propuesta de capacidad de carga* permitirá observar los cambios en el equilibrio general del sistema.

En los gráficos que se presentarán en el desarrollo del artículo se omitirán las escalas de ambos ejes el vertical y horizontal porque lo que se quiere resaltar son los comportamientos generales de los mecanismos y no las intensidades en los datos numéricos simulados los cuales son meramente aproximativos.

##### **Efecto de una política sobre el sistema**

Tomemos por ejemplo una comunidad hipotética donde el modelo planteado explica los fenómenos que suceden en el territorio; el Estado desea realizar una intervención para cambiar la situación de carente organización social de la población esto con el fin de mejorar la calidad de vida de los ciudadanos de la región, a raíz de la situación planteada se aplica una política que cada 5 períodos de tiempo ( $t+5$ ) interviene el capital social con un impulso positivo lo cual puede hacerse con políticas de formación y fortalecimiento del capital social, con el fin de generar cohesión, apropiación, empoderamiento e incidencia política.

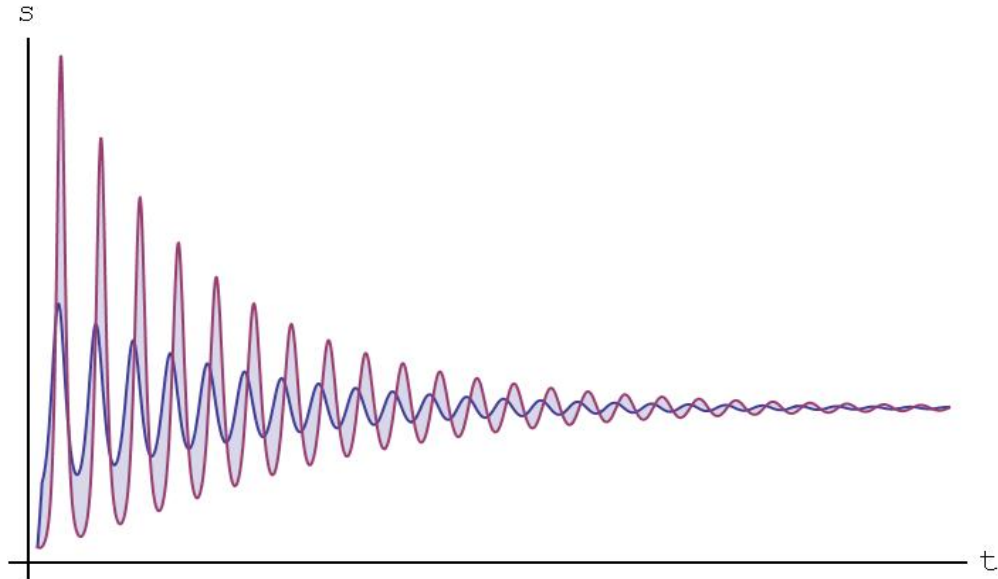
Si se utiliza el modelo 1 del artículo II, que estaba conformado por dos ecuaciones una de capital social y la otra capital financiero. Si se implementa una política (P) que interviene el capital social cada cinco unidades de tiempo tendremos la siguiente ecuación:

$$\frac{ds}{dt} = \alpha s(t)(\hat{s} - e(t)) + P_{t+5}$$

*Fórmula 17. Ecuación capital social con el efecto de una política periódica*

Donde,

P: es la política del Estado que invierte en capital social para cinco años.

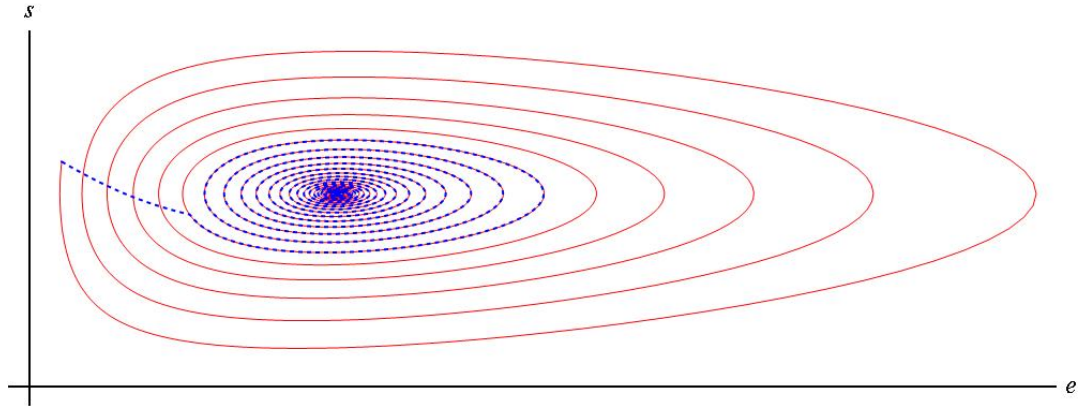


*Figura 22. Gráfico del capital social con la intervención de la política y sin ella.*

En la figura 22 se puede observar de color azul el comportamiento de la ecuación de capital social sin ninguna intervención, en color rojo se observa el efecto que tiene la política de intervención sobre el capital social, la cual logra que el mismo fluctúe menos y que converja más rápido a la estabilidad.

En la realidad una política para impulsar el desarrollo o incremento de capital social es muy compleja el decisor debería primero comprender el contexto, para que lo que se implemente posibilite el desarrollo de conocimientos, incentivos y capacidades de aprendizaje en las instituciones y organizaciones para la gobernabilidad que permitan una gestión adaptativa de los sistemas a diferentes nivel como local, regional y global (Folke 2006). No obstante el hecho de poder observar de manera simplificada como cambia la función de capital social ante un efecto positivo para cierta cantidad de períodos es un insumo importante para la toma de decisiones.

Asimismo, hay que ver los efectos que tiene esa política sobre el sistema en general y la forma de hacerlo es graficando el equilibrio con la política y sin la política, en la figura 23 se muestra en línea continua el sistema sin el efecto de la política y en línea discontinua el equilibrio del sistema con el efecto de la política



*Figura 23. Gráfico del equilibrio del modelo1 donde se muestra el efecto de la una política sobre el capital social.*

En la figura 23 se muestra el efecto de la política que periódicamente interviene en el capital social, el equilibrio sigue siendo estable y la trayectoria muy similar al modelo sin política, el cambio se presenta en la velocidad con que el sistema llega al punto de equilibrio.

#### **Cambio estructural en el sistema**

Las estructuras en la naturaleza pueden mantenerse solamente bajo ciertas condiciones, es decir que los parámetros deben conservarse dentro de un rango de valores. Esta condición es llamada la estructura de soporte y cuando estos sobrepasan el rango se generan los cambios en la estructura (Macfarlane 1981).

Un cambio en la estructura en un sentido amplio puede involucrar cambios en los componentes y sus interconexiones, cambios en la definición del sistema y adición o eliminación de componentes del sistema (Barros 1998). Para simular lo que implica un cambio estructural continuaremos utilizando el modelo anterior, el escenario involucrara la adición de un elemento en la ecuación del capital social denominado con el símbolo de  $\mu$ , cuyo efecto será positivo. La ecuación del mismo tomara la siguiente forma:

$$\frac{ds}{dt} = \alpha s(t)(\hat{s} + \mu - e(t))$$

*Fórmula 18. Ecuación capital social con un cambio estructural*

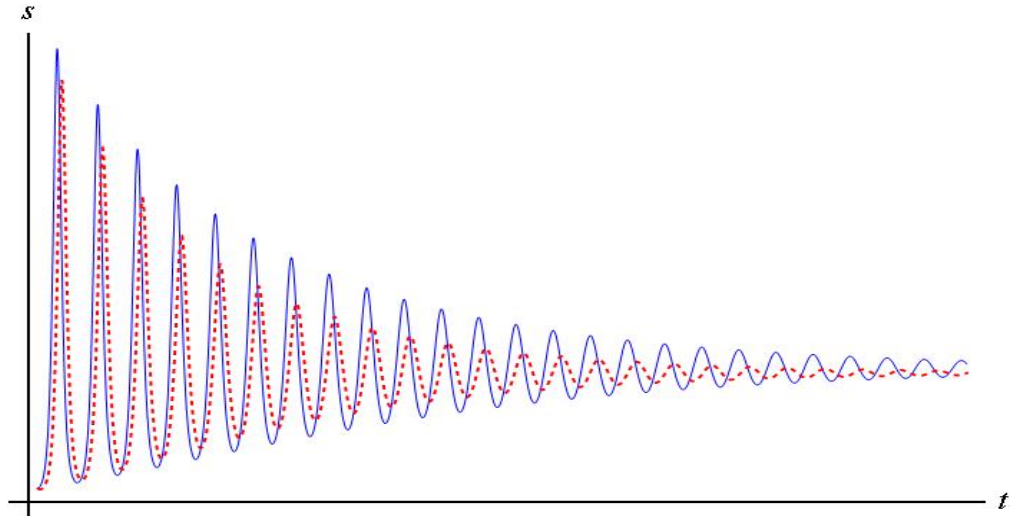


Figura 24. Gráfico del capital social con un cambio estructural.

En la figura 24 se puede observar el cambio en el comportamiento de la función de capital social debido al cambio estructural en la ecuación 18, el resultado es que el capital social presenta una tendencia creciente que solamente cambiaría si elemento del capital financiero  $e(t)$  llega a ser más grande que el resultado de  $\hat{S}+\mu$  entonces en ese punto la curva va a empezar a caer.

Este cambio en la ecuación de capital social como el caso anterior podría cambiar el comportamiento del equilibrio del sistema, a continuación se muestra el gráfico del equilibrio sin el cambio estructural y con el cambio.

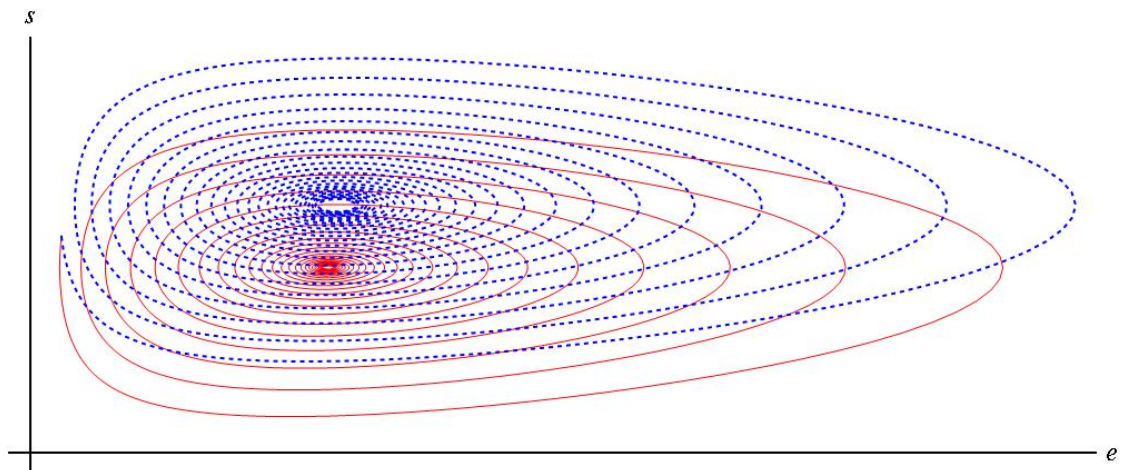


Figura 25. Gráfico del equilibrio del primer modelo con cambio estructural.

Como se puede observar en la figura 25 el escenario planteado tiene como resultado un nuevo punto de equilibrio representado por la espiral de línea discontinua, esta consecuencia es el producto de una permuta en los mecanismos de una sola ecuación se podría deducir que

si una sociedad desea alcanzar estadios de bienestar más altos debe realizar intervenciones que modifiquen sus mecanismo.

### **Políticas combinadas**

En este escenario se presentará los efectos de la aplicación de políticas en ambos capitales, las políticas que se van adicionar al modelo hipotéticamente no generan ningún cambio en los mecanismos de esta sociedad. Este escenario se puede analizar desde varias opciones de política una de ellas es un programa de gobierno tiene entre sus objetivos incidir en el capital financiero y el social. Otra forma de analizarlo es si el Estado realiza una política cuyos impactos no son los deseados y debe complementar las acciones de esta con otra política que complemente o minimice los efectos no deseados en otros sectores.

El escenario será construido de la siguiente forma, al inicio solo se va a incidir en el capital financiero y unos períodos de tiempo adelante al capital social. A continuación se presentan las ecuaciones

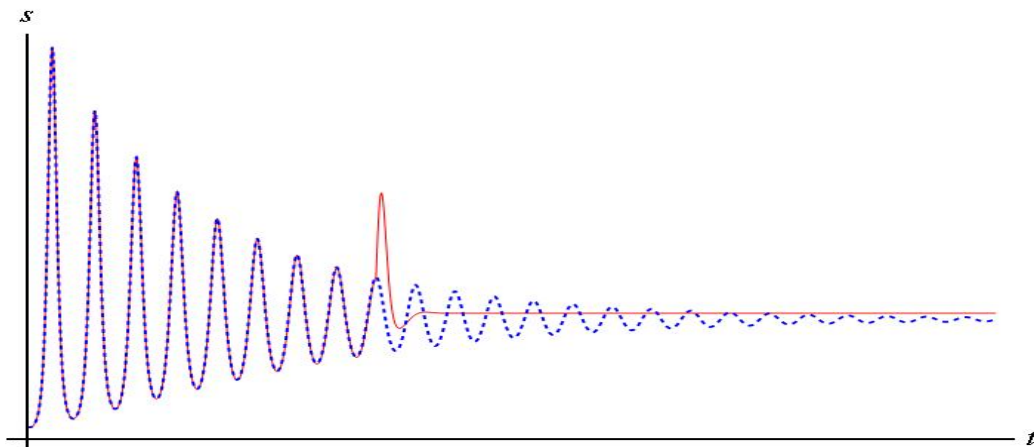
$$\frac{de}{dt} = ge(t) \left( 1 - \frac{e(t)}{\hat{e}} \right) \left( \frac{e(t)}{c} - 1 \right) + \gamma s(t) + P_e$$

*Fórmula 19. Ecuación capital financiero con una política*

$$\frac{ds}{dt} = \alpha s(t)(\hat{s} - e(t)) + P_s$$

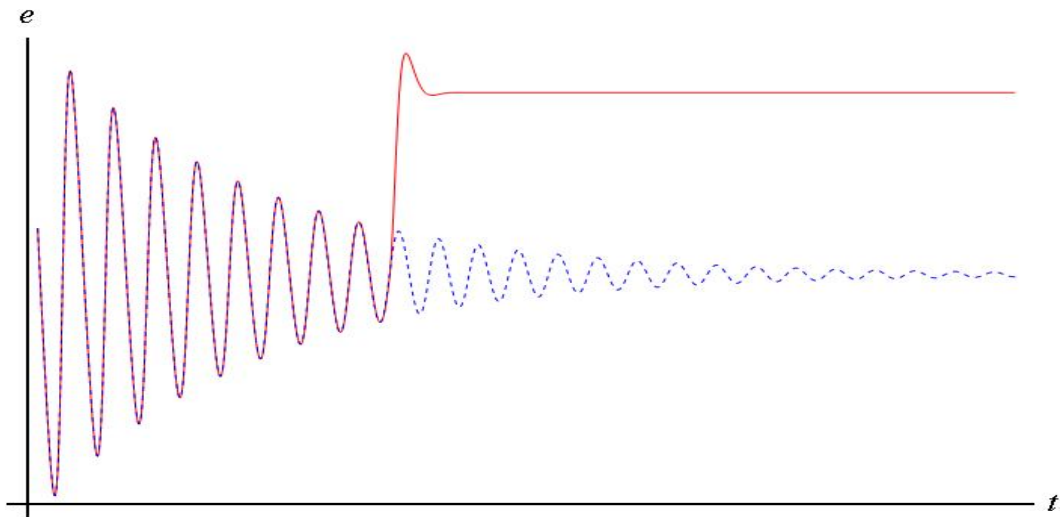
*Fórmula 20. Ecuación capital social con una política*

$P_e$  es una política enfocada en aumentar el capital financiero y esta será la política que actué inicialmente en el sistema, unos períodos de tiempo después se interviene el sistema con otra política que va a incidir son el capital social  $P_s$ . Esto hace referencia al desplazamiento temporal de las políticas.



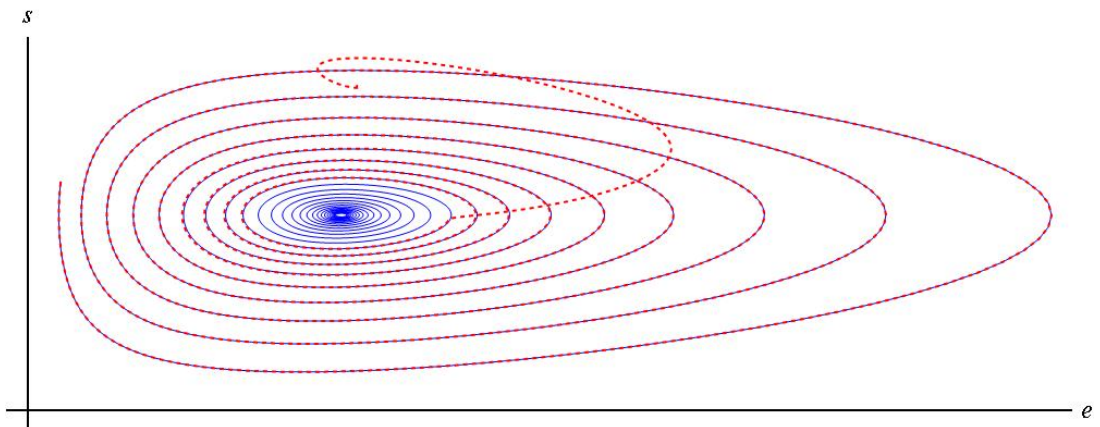
*Figura 26. Gráfico del capital social con política simultanea en el capital financiero.*

En la figura 26 se muestra en línea discontinua la función de capital social sin política y la línea continua representa el cambio que genera la política, el efecto inicial de una sola política se muestra en el salto que presenta la función, después la función tiende a estabilizarse rápidamente esto por el efecto de las políticas actuando simultáneamente en el sistema.



*Figura 27. Gráfico del capital financiero con política simultanea en el capital social.*

En la figura 27 se presenta en línea discontinua la función de capital financiero sin política y la línea continua constituye el cambio que genera la política, de manera similar a la figura 26 se ve un salto en la función y después se mantiene estable, que el salto sea mayor en este capital se debe que además de la política el capital social tiene un efecto positivo sobre este.



*Figura 28. Gráfico del equilibrio con el efecto de las políticas simultáneas y sin política.*

En la figura 28 se puede observar el efecto que tendría la aplicación de ambas políticas sobre el equilibrio general, el sistema presenta un comportamiento igual al equilibrio sin políticas has que el efecto de ambas perturba la trayectoria del sistema y lo lleva a un nuevo punto de equilibrio.

### **Resiliencia**

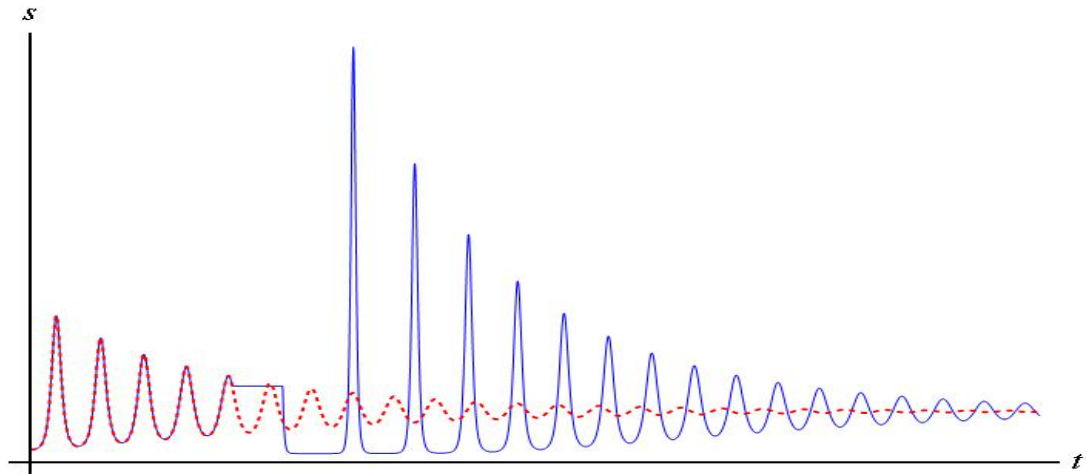
El tema de resiliencia se ha enfocado en la capacidad de un sistema de absorber impactos y a pesar de ello mantenerse en funcionamiento esta es la definición más simple, sin embargo, existe otro aspecto que este concepto involucra relacionado con la capacidad que tiene un sistema para renovarse, reorganizarse y desarrollarse. Entonces la resiliencia se constituye en una oportunidad para que un sistema socio ecológico sufra un disturbio, innove y desarrolle nuevas vías para su crecimiento, alcanzando de la estabilidad pérdida por el impacto (Folke 2006).

La resiliencia se puede analizar desde dos puntos de vista, el primero donde se busca por medio de políticas controlar el cambio en el sistema asumiendo que este es estable, la segunda es con políticas para gestionar la capacidad de los sistemas socio ecológicos para enfrentar los disturbios y la forma del cambio (Berkes et ál. 2003).

Una definición de resiliencia menciona que esta es fundamentalmente el tiempo que toma un sistema para recuperar el estado en el que se encontraba antes de sufrir un impacto que lo desplace de su trayectoria o equilibrio (Folke 2006). Adicionalmente, Bellwood et ál (2004) menciona que debido a la complejidad de los sistemas adaptativos es preferible utilizar términos conceptos como renovación, regeneración y reorganización después del disturbio en vez de recuperación, esto porque tales conceptos incorporan el sentido de evolución que es algo intrínseco en dichos sistema lo que quiere decir que el sistema vuelve a un estado similar al anterior, pero por los procesos evolutivos no va a ser igual al estado anterior.

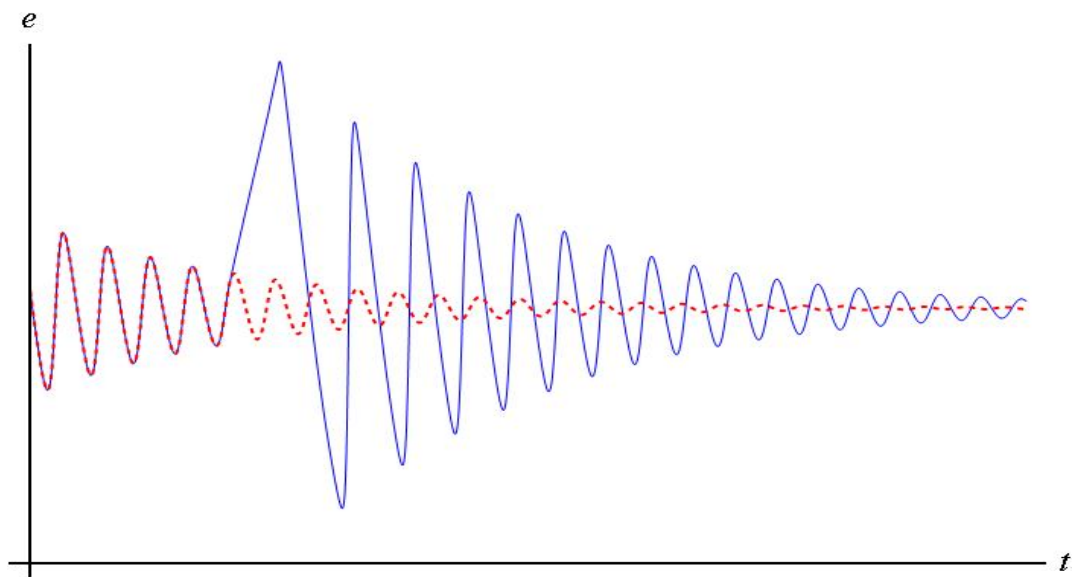
La definición de resiliencia social se entiende como la habilidad de las comunidades humanas para soportar impactos externos en la infraestructura social, tal como la variabilidad ambiental o social, levantamientos políticos y económicos (Adger 2000). La resiliencia en relación a los sistemas socio ecológicos agrega los conceptos de adaptación, aprendizaje, auto organización, la habilidad general para continuar después del impacto (Folke 2006).

Para observar el efecto de un impacto y demostrar la resiliencia social del sistema se va a inducir un shock en la ecuación de capital social, como el modelo está acoplado también debería observarse efectos en el capital financiero.



*Figura 29. Gráfico del capital social con impacto inducido.*

En la figura 29 se puede observar como el impacto cambia la trayectoria de la ecuación con respecto a la sin impacto, esto es una aproximación de la respuesta que tiene una sociedad ante un impacto ya sea a nivel climático o alguna fuerza que desestabilice la estructura social en la región.

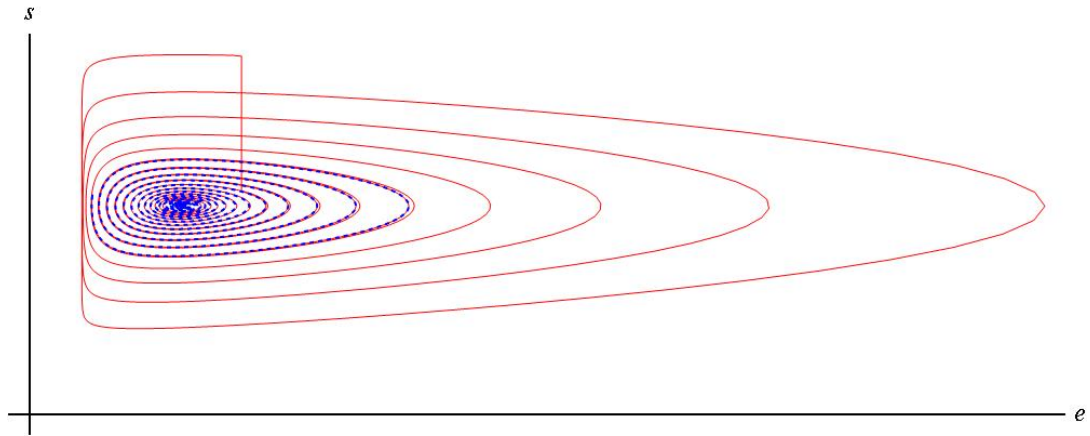


*Figura 30. Gráfico del capital financiero con el efecto de un impacto en el capital social.*

En las figuras 29 y 30 se muestra como el sistema sufre un impacto ambas funciones tienen oscilaciones fuertes, no obstante tiende a estabilizarse después de absorber el impacto.



Este escenario a pesar de su simplicidad muestra como el sistema reacciona ante una eventualidad y luego vuelve a su trayectoria de equilibrio.



*Figura 31.* Gráfico del comportamiento del equilibrio ante un impacto, sin el impacto en líneas discontinuas.

En la figura 31 se muestra en líneas discontinuas se muestra el sistema sin la perturbación y en línea continua el efecto del disturbio sobre el mismo, el gráfico muestra como el sistema presenta oscilaciones más pronunciadas en la espiral estas se pueden observar en las figuras 29 y 30, también se nota que el sistema toma más tiempo en regresar al equilibrio debido al impacto. Las implicaciones políticas podrían ser que el Estado debe generar habilidades en las comunidades para que ante los disturbios las sociedades reaccionen adecuadamente ante desastres naturales, revueltas sociales, impactos en la economía y las diferentes problemáticas que enfrenta la sociedad tanto rurales como urbanas. Si se construyen diferentes escenarios simulando distintos impactos el Estado podría enfocar sus políticas para que los que representan una mayor amenaza para el sistema sean minimizados o evitados.

### 4.3 Conclusiones

Una población rural delimitada en un territorio el cual implica la convivencia y la interacción de elementos como actividades económicas, sociales, culturales, políticas, esto por mencionar algunos de los factores que tienen lugar, es así que enfocarse en lo meramente agropecuario limita las posibilidades para generar procesos de desarrollo integrales y efectivos.

El objetivo de este artículo es mostrar a nivel cualitativo como responde el sistema a diferentes escenarios que muestran los distintos cambios en la dinámica del mismo, las intervenciones que se probaron en el modelo fueron en un solo capital, un cambio estructural, intromisiones simultáneas y una prueba de resiliencia.

En el primer caso que fue una política con efectos positivos sobre el capital social lo que se logró fue que el modelo alcanzara el equilibrio en menor tiempo lo que implica que si solo se afecta una parte del modelo los efectos sobre su equilibrio general son modestos.

En la realidad el tema de la selección del tipo de política es una discusión que en esta investigación no es uno de sus objetivos, pero podría decirse que los tomadores de decisión tiene un amplio conjunto de posibilidades que se podrían dividir en dos grupos las que buscan un cambio estructural y las que nada más tiene por propósito el subsanar una necesidad de corto plazo, asimismo se puede decidir entre políticas que afecten varios subsistemas o solo que afecten a uno en específico, esto va a depender de los objetivos de política.

Un cambio estructural primero es un proceso implica cambios profundos en la estructura de una sociedad, es por esto que lograrlos toma tiempo. En la simulación por simplicidad se incluye de una vez en la ecuación de capital social, el impacto que tiene sobre el modelo es importante porque desplaza el punto de equilibrio, ante cambios en los mecanismos ya sea que se agreguen elementos o cambios en la forma de la ecuación van siempre a tener efectos considerables en el equilibrio general del modelo.

La combinación de políticas tuvo impacto similar al del cambio estructural ya que ambos escenarios mostraron un nuevo punto de equilibrio, no obstante en ninguno de los casos se presentó disminución en el tiempo que el sistema alcanza el equilibrio pero si cambios en las trayectorias.

El ejercicio que se utilizó para observar si el modelo presentaba resiliencia consistió en generar un impacto que era que en un intervalo de tiempo donde en el capital social los datos se convertían en cero, esto lo que generó fueron las oscilaciones observadas en los y el cambio

en las trayectorias del sistema, objetivo principal en esta sección era probar si el modelo era útil para hacer una aproximación del comportamiento del sistema ante impactos en alguno de sus subsistemas.

En este artículo el interés no era realizar un ejercicio de sensibilidad del modelo, el propósito era observar mediante los gráficos de las funciones y del equilibrio como intervenciones con un objetivo específico en las ecuaciones modificaban el comportamiento del modelo expresado en las herramientas gráficas.

En síntesis, con esta sección se quería explorar el potencial del modelo al momento de ser intervenido y los diferentes efectos que este mostraba, a pesar de la simplicidad de las aproximaciones hipotéticas de las políticas los resultados son de utilidad. Algunas preguntas que surgen a partir de este ejercicio de modelaje son:

¿Cómo diseñar políticas nacionales que tienen efectos distintos a nivel local?

¿Cómo se generan los cambios estructurales son inducidos por procesos políticos o de otro ámbito?

¿Los proceso de aprendizaje y evolución generados por un impacto deben ser incorporados en el modelaje propuesto?

#### **4.4 Bibliografía**

- Adger, W.N., 2000. Social and ecological resilience: are they related? *Progress in Human Geography* 24, 347–364p.
- Barros, F. 1998. Modeling formalisms for dynamic structure systems. *Transactions on Modeling and Computer Simulation* 7(4):15p.
- Bellwood, D.R., Hughes, T.P., Folke, C., Nystrom, M., 2004. Confronting the coral reef crisis. *Nature* 429, 827–833p.
- Berkes, F., Colding, J., Folke, C. (Eds.), 2003. *Navigating Social–Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Folke, C. 2006. Resilience: The emergence of a perspective for social- ecological systems analyses. *Global Environmental Change* 16:16p.
- Macfarlane, A. 1981. Dynamic structure theory: a structural approach to social and biological systems. *Bulletin of mathematical Biology* 43(5):13p.
- Skartveit, H., Goodnow, K., Viste, M., 2003. *Visualized System Dynamics Models. Informing Science*. Norway. University of Bergen.

## **5 ANÁLISIS DE LAS IMPLICACIONES DE LOS RESULTADOS DE LA TESIS PARA EL DESARROLLO DESDE UNA PERSPECTIVA INTEGRAL Y MULTIDISCIPLINARIA**

Esta investigación es de carácter teórico, el objetivo de la misma es proponer una nueva concepción de capacidad de carga, la cual debe enfocarse en los aspectos antropocéntricos y menos en los bio-céntricos sin dejarlos de lado, esto implica que el ser humano es el agente de cambio gestiona su territorio y la capacidad de carga del mismo.

Para el análisis de la capacidad de carga se debe ser muy claro debido a que es ampliamente utilizada en diferentes ramas de la ciencia y para cumplir con el propósito de generar una nueva idea de dicho concepto es necesario buscar un cuerpo teórico que facilitará clasificar e identificar todos los recursos con los que cuenta una comunidad rural, para realizar dicha tarea se decidió utilizar como marco de referencia para el análisis y categorización de dichos elementos la teoría de los capitales y medios de vida con el fin de decidir cuantas ecuaciones debía tener el modelo, asimismo para la definición de los probables parámetros que conforman y afectan los diferentes capitales.

Antes de analizar las consecuencias de los resultados de esta investigación es importante contextualizar el propósito que se busca al intentar redefinir el concepto de capacidad de carga, el ser humano es elemento de interés de este estudio por lo cual uno de los puntos de partida son las teorías del desarrollo humano.

El cual es definido en el primer Informe de Desarrollo Humano (1990), como un proceso en el cual se amplían las oportunidades del ser humano, destacando la idea de que en principio estas oportunidades pueden ser infinitas y cambiar con el tiempo, colocando en el punto de mira, tres oportunidades esenciales, entre ellas: disfrutar de una vida prolongada y saludable, adquirir conocimientos y tener acceso a los recursos necesarios para lograr un nivel de vida decente.

En esta concepción el ser humano es considerado como motor y objeto del desarrollo, involucrándolo en la posibilidad y necesidad de participar activamente como sujeto de transformación, en los procesos de ampliación de sus propias oportunidades en distintas esferas: ingreso, conocimientos, vida prolongada, libertad, seguridad personal, participación comunitaria y derechos fundamentales.

Es así, que en esta investigación la capacidad de carga es más que un límite superior e inferior de un tamaño poblacional, debería ser construida a partir de conceptos como el desarrollo humano o enfoques como el Desarrollo Territorial Rural Sostenible (DTR) que al poseer una visión de lo “sectorial” y lo “local” que se enrumba hacia a una dimensión más vasta y compleja, donde el “territorio” es concebido no sólo en sus dimensiones físicas, sino como el espacio en que se proyecta producto de una construcción social que deviene de un conjunto de relaciones sociales (Miranda y Adib 2007) articuladas por una identidad compartida y con un objetivo de desarrollo.

De conformidad con anterior, resulta evidente el carácter eminentemente endógeno de los capitales cultural, social y político en un territorio, una de las consecuencias de esta línea ideológica es considerar a lo intrínseco de las comunidades como el punto de partida donde las mismas podrían gestionar su capacidad de carga a través del conocimiento de las variables que conforman cada capital y como los mismos interactúan entre sí, asimismo, los mecanismos expresados en las ecuaciones planteadas del modelaje, para así con estos conocimientos las poblaciones rurales utilicen de forma optima de los recursos con los que se cuentan.

Las implicaciones a nivel humano del modelaje realizado es que si en las sociedades rurales efectivamente se presenta el tipo de mecanismo descrito para la ecuación de capital humano en los modelos II y III, es necesario realizar cambios estructurales en el sistema educativo, para que este pase de ser una educación uniforme para todas las zonas de un país a una orientada al contexto de cada territorio esto con el fin de que las personas tomen su proceso formativo como una herramienta para desenvolverse en su torno, esto hipotéticamente tendería a cambiar los mecanismos del sistema dinámico fortaleciendo el capital humano, social, financiero y natural.

Entre las implicaciones en el capital social, se debe tener una mejor comprensión de cuáles son las variables que influyen y conforman este capital y como estas interactúan con el resto de capitales y viceversa, en fin, hace falta mayor esfuerzo investigativo en el tema de cómo los capitales interactúan como se relacionan, tanto a nivel cuantitativo y cualitativo.

En lo que respecta a la toma de decisiones políticas es necesario contar con modelos formales como el desarrollado en esta investigación para que los tomadores de decisión tanto a nivel local como nacional los utilicen para evaluar las políticas y tener una mejor visión de las implicaciones en los temas de capacidad carga, interacción de los capitales en la comunidad.

A pesar de que el capital físico no fue incluido en el modelaje explícitamente, son factores que si se tomaron en cuenta implícitamente para analizar estos elementos es necesario posicionarse desde dos niveles el macro y el micro, en el primer nivel que hace referencia a las construcciones de vivienda e infraestructura pública, este nivel de capital físico se convierte en un elemento que compite con el capital natural por el factor tierra, en el modelo III fue un aspecto tomado en cuenta dentro de los efectos negativos del capital financiero sobre el natural, es necesario explorar la minimización de impactos de estos elementos en el ambiente y hasta pensar en la construcción vertical en las zonas rurales y con mayor urgencia en las urbanas, el segundo sentido está ligado a la tecnologías de producción es necesario que se promueva el acceso a la tecnología en las poblaciones rurales pero no de la forma tradicional si no en vías diferentes donde las comunidades tengan un papel relevante en temas como la selección y adopción.

En lo que respecta al capital financiero es necesario como para el resto entender su interacción con el resto, identificar qué factores que componen este capital tienen efectos negativos o positivos en la comunidad un ejemplo de esta importancia es el tema de los incentivos porque de acuerdo a los mecanismos existentes en la comunidad estos podrían tener efectos nocivos o beneficioso en la comunidad, la idea subyacente es que los tomadores de decisión con un modelo adecuado podrían conformar de manera adecuada los programas de incentivos y de otra índole para que los impactos de estos sean los deseados.

En relación al capital natural es necesario trabajar en dos aspectos uno es su valor de uso el cuál es importante para las comunidades y el otro es su valor de no uso, la primer clasificación es fuente inmediata de ingreso para las comunidades. Otro aspecto importante de este capital es su cualidad de límite ya que restringe las posibilidades de producción y es un elemento que por sus características debería ser tomado en cuenta a nivel de las comunidades para la toma de decisiones y en un eventual caso para la modificación o mejora de los mecanismos determinados por un esfuerzo de modelación como el desarrollado en esta investigación.

En síntesis, conceptualizar un territorio rural como un espacio de construcción social, articulado por cada uno de los subsistemas que interactúan dentro de un espacio físico es una visión necesaria para conceptualizar la capacidad de carga que esta investigación se propuso. La serie de arreglos que se expresan en mecanismos de los modelos, el conocer cómo

interactúan estos tiene consecuencias en el cambio de gestión de las poblaciones humanas y los territorios, en ese sentido, el enfoque se acerca más al concepto de territorio construido.

## **6 ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LOS RESULTADOS PARA LA FORMACIÓN DE POLÍTICAS**

En el Artículo de investigación III denominado “Implicaciones de los modelos” se realizaron una serie de escenarios con el fin de analizar cuál es la utilidad de un modelo de este tipo para los tomadores de decisión. Los escenarios planteados fueron el efecto de una política (o una intervención en un solo capital o subsistema), lo que se pudo observar fue que el sistema llegaba al punto de equilibrio en menor tiempo que sin ninguna intromisión este resultado puede se muestra en la figura 23, el siguiente abordó el tema de un cambio estructural en el sistema resultó en un desplazamiento del sistema a otro punto de equilibrio, como se presenta en la figura 25.

De igual forma, se analizó un contexto donde se aplicaban dos políticas simultáneamente una por cada ecuación de modelo el resultado puede ser observa en la figura 28 donde lo que cambia es la trayectoria así como el punto de equilibrio del sistema. Otra de las simulaciones fue realizada con el propósito demostrar si el modelo podía servir para mostrar resiliencia, para tal objetivo se simuló el efecto de un impacto en el sistema que asemejara a lo que sucede con las catástrofes naturales, sociales o económicas, la realización dicho escenario generó en el sistema una modificación en la trayectoria, no obstante la situación de equilibrio se mantuvo similar a la inicial dicho movimiento se puede observar en el figura 31.

Esta investigación tiene potencial para generar políticas por dos vías la primera es el proceso de modelaje implica un análisis de la sociedad alcanzando a entender las necesidades de la población, con lo cual se podría generar acciones para solventarlas. La segunda forma de generar políticas es a través de simulaciones similares a las realizadas en el artículo III.



## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Conclusiones

- El tema de capacidad de carga tiene relevancia a nivel mundial y por ello en la investigación se planteo el propósito de generar una redefinición de esta concepción debido que las existentes no llenan las expectativas de la problemática actual.
- El que la base de la concepción de capacidad de carga de poblaciones humanas sea solamente un atributo biofísico como la disponibilidad de alimentos deja una serie de determinantes del comportamiento de las sociedades afuera de la ecuación que no deberían ser excluidos.
- La gestión del territorio utilizando el concepto de capacidad de carga como actualmente está planteado es parcial, es por esto que es importante ampliar la definición actual para que contemple los factores antropocéntricos en unión a los biofísicos.
- La concepción de capacidad de carga donde el factor  $k$  es un límite sea este social, ambiental u otro, conlleva a un error conceptual el cual es pensar que  $k$  es estático, no obstante facilita el análisis pero es empíricamente vacío. Es por esto que en esta tesis se propone cambiar la definición de capacidad de algo estático a algo dinámico.
- La capacidad de carga en esta investigación es un punto de equilibrio de un sistema dinámico que surge de la interacción de subsistemas como el social, humano, financiero y natural.
- Las implicaciones de un modelaje como el realizado en este estudio, son variadas desde poner a pensar a la comunidad científica en como formalizar en un lenguaje matemático el tema de los capitales y sus interacciones, como cuantificar aspectos que son cualitativos como las variables que conforman el capital social.
- El ejercicio realizado en esta tesis es determinístico como se definieron los mecanismos no obstante con mayor investigación se pueden encontrar

formas de que esto cambien como por ejemplo en las formas y combinaciones de los parámetros.

- La utilización de ecuaciones diferenciales con lleva ciertas limitaciones que deben ser superadas si se quiere que el modelaje pueda llevarse a la práctica:
  - Elegir una unidad de medida común para todos los capitales y parámetros.
  - La intractabilidad podría resolverse utilizando al máximo dos dimensiones.

## **7.2 Recomendaciones**

- Esta investigación es un primer paso exploratorio donde se expresan mecanismos generales observados en información secundaria, no obstante, en una fase de campo se podrían haber validado lo que se hayo en la información recopilada.
- Se deben explorar enfoques metodológicos adicionales para ver cual tiene menos complicaciones y es más fácilmente puesto en práctica, sin perder la noción integral del modelaje realizado.
- La utilización de una herramienta como la desarrollada en esta investigación a nivel cualitativo podría tener aplicaciones académicas y de análisis político.
- Al nivel desarrollo en el que se encuentra está investigación es un esfuerzo interesante en la pregunta ¿Cómo son las interacciones de los distintos capitales en una comunidad?.

## **ANEXOS**

## **SISTEMATIZACION DE EXPERIENCIAS PARTICIPATIVAS EN HOJANCHA**

Este documento tiene el objetivo de sistematizar dos experiencias participativas aplicadas en Hojancha, un grupo focal con representantes de instituciones y un taller con productores. El objetivo de ambas actividades fue la identificación de los factores que han influido sobre el cambio de uso de la tierra. Por lo tanto, el eje de esta sistematización será plasmar estos factores, los cuales han influenciado los cambios de uso de la tierra a nivel de finca y paisaje desde el punto de vista subjetivo de los pobladores de este territorio. Esta sistematización es un insumo para el diseño de las encuestas que serán aplicadas formalmente a los productores de Hojancha.

### **GRUPO FOCAL**

#### **1. Recuperación del proceso vivido**

El grupo focal fue realizado el 28 de Abril en la oficina sub-regional del MINAET, Hojancha. En esta actividad hubo representación de funcionarios de distintas organizaciones, entre ellas el CACH, la Cámara de ganaderos, el Área de Conservación Tempisque, Coopepilangosta, el sector de la juventud, y del sector de adultos mayores.

El desarrollo del eje temático de esta actividad se realizó a través de un diálogo semi-estructurado en el cual los participantes respondieron a dos preguntas a través del uso de tarjetas de colores:

¿Cuáles han sido los cambios de uso de la tierra en los últimos 30 años en las fincas y el paisaje?

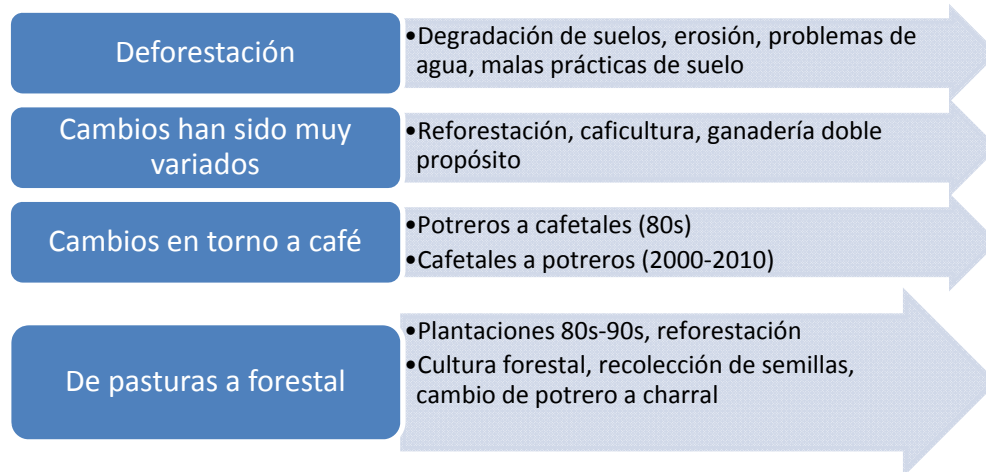
¿Qué factores físicos, ambientales, culturales, políticos, sociales, humanos y financieros han influenciado estos cambios?

Para responder cada pregunta se realizó la dinámica con tarjetas de colores (ver protocolo), en la cual los actores escribían las respuestas. Posteriormente las tarjetas se agrupan por temas y se elaboran "nubes de ideas principales".

## 2. Análisis del proceso

### ¿Cuáles han sido los cambios de uso de la tierra en los últimos 30 años en las fincas y el paisaje?

Para responder esta pregunta las ideas principales fueron las siguientes:



#### Discusión:

El cambio de uso de la tierra en el cantón inicia desde hace aproximadamente 20 años. Este cambio es propulsado por la crisis ganadera que se da en la década de los 70, la cual causa una fuerte migración y además un cambio en el modelo de familia y el económico. Posterior a este periodo, e impulsado principalmente por el CACH, se inicia el tema de la restauración en Hojancha. De manera que hay un cambio en el uso del suelo de pastos hacia usos forestales. Sin embargo, aunque este cambio parece ser algo general hay particularidades y variaciones para cada productor y hay algunos cuyo cambio ha sido hacia la producción de café, cítricos, viveros, entre otros. El cambio principal que se reconoce es de "pasto a bosque", pero se puntualiza que ninguna actividad se ha terminado sino que todas continúan por medio de la diversificación en las fincas.

Todos los usos se han perpetuado debido a que el cambio principal ha sido de mentalidad: pasar de ser producir una cosa en particular a tener fincas con actividades ganaderas, cafetaleras y forestales integradas. Sin embargo, a través de los últimos 30 años la ganadería es la actividad que más se ha mantenido debido a sus características particulares:

(1) Se pueden obtener ingresos en cualquier momento, contrario a la actividad forestal en la cual hay que esperar muchos años para obtener retorno.

(2) Tiene mercado.

(3) Es una actividad que la han heredado de sus padres y abuelos y que se ha mantenido gracias a la cultura de la zona.

(4) La ganadería se puede desarrollar a cualquier altura, mientras que las actividades forestales y de café son más limitadas.

El cambio hacia lo forestal está estrictamente ligado a factores relacionados con el capital político, ya que el estado invirtió dando créditos forestales. El cambio hacia este sector fue concebido inicialmente como una actividad comercial para la teca y la melina, pero trae implícito el espíritu de conservación que ha permeado otras actividades productivas. Actualmente, se insiste que el uso de la tierra forestal debe comprenderse en sus 2 facetas por separado: conservación y comercialización, siendo únicamente aquello dedicado a comercialización lo que puede aprovecharse.

El cambio hacia los usos del suelo forestales está ligado también con los suelos degradados que dejó la crisis ganadera y que causaron el abandono y sucesiva regeneración. Este proceso recuperó la zona de Monte Romo y permitió promover las plantaciones en la zona.

**¿Qué factores físicos, ambientales, culturales, sociales, políticos, humanos y financieros han influenciado estos cambios?**

Para responder esta pregunta las ideas principales fueron las siguientes:

- |          |   |   |
|----------|---|---|
| Humano   | } | Educación   |
|          |   | Capacitaciones  |
|          |   | La familia como conjunto "todos aportando un poquito"                         |
|          |   | Cambio generacional   |
| Cultural | } | Apego de la familia a la actividad  |
|          |   | Cultura de trabajar en conjunto, en organizaciones                            |
|          |   | Cultura de innovación, de no ser conformista                                  |
|          |   | Cultura de que "entre todos podemos lograr metas"                             |
|          |   | Actitud positiva frente a la crisis   |
|          |   | La responsabilidad, el trabajo y la solidaridad son los valores de la cultura |
|          |   | Tradición      Conciencia ambiental   |

Financieros	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rentabilidad</li> <li>Crédito</li> <li>Crisis económica</li> <li>Liquidez de la ganadería</li> <li>Consumo per cápita</li> </ul>
Social	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción de mano de obra familiar*</li> <li>Aporte de los miembros de la familia*</li> <li>Visión integral en el manejo de la finca*</li> </ul>
Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>Acceso al agua</li> <li>Condiciones climáticas y topográficas para producción</li> <li>Pendiente del terreno</li> <li>Vocación del suelo para producción</li> </ul>
Físico	<ul style="list-style-type: none"> <li>Condiciones de infraestructura</li> <li>Mejora de medios de transporte</li> </ul>
Político	<ul style="list-style-type: none"> <li>PSA</li> <li>Incentivos del gobierno</li> <li>Políticas crediticias</li> </ul>

Estas ideas fueron complementadas a través de una discusión:

Capital	Discusión
Humano	<p>Existe un vacío generacional, los hijos se van a estudiar lejos del hogar y los padres de avanzada edad no pueden trabajar tanto en la finca, por lo tanto los limitan hasta cierto punto en poder continuar las actividades.</p> <p>El crecimiento demográfico es poco ya que existe una fuga de profesionales. Además, en el pasado tener hijos era positivo para la finca porque trabajaban en ella, ahora tener hijos representa un gasto porque no trabajan en la finca sino que quieren dedicarse al estudio.</p>
Social	<p>El desarrollo organizacional ha fomentado algunas actividades y por tanto promueve el mantenimiento de ciertos usos de la tierra. Al respecto se reconoce el aporte de Coopepilangosta, el CACH, Monte Alto, entre otros.</p> <p>Asimismo se da importancia a las redes informales, en este caso se menciona el sector de hortalizas (chile y tomate) , la subasta de ganado y el establecimiento del sector de viveristas, los cuales han sido espacios que se han desarrollado básicamente por redes informales.</p> <p>La influencia del vecino es importante y se reconoce que "copian" de otros amigos o vecinos cuando hacen cambios en sus sistemas de producción.</p> <p>Eventualmente se intercambian mano de obra entre vecinos.</p>
Financiero	<p>La actividad ganadera es la que permite generar mayor ahorro, por lo que puede iniciarse con un animal y después comprar otros.</p> <p>El acceso a crédito ha sido clave en Hojancha para realizar cambios.</p> <p>La deuda juega un papel importante. Por ejemplo, en</p>



	<p>los 70s muchos ganaderos se endeudaron por la crisis y finalmente al no poder mantenerla más tuvieron que venderla para respaldar sus deudas.</p> <p>Ocasionalmente los hijos envían dinero de las ciudades donde estudian.</p>
Político	<p>Los incentivos, las políticas crediticias, y el sistema de PSA ha permitido incorporar el elemento arbóreo y además traen consigo un elemento cultural: una conciencia de conservación que permea otras actividades. Se discute que a pesar de que ha permeado las mentes esta conciencia de la conservación es posible que solo pueda sostenerse si se mantienen incentivos. Sin embargo, otros aseguran que no necesitan incentivos para conservar.</p>
Físico	<p>Hay importancia en poder contar con medios de transporte, edificaciones y con buenos caminos. Los buenos caminos hoy en día benefician actividades como el turismo. También se menciona el caso del acceso a la electricidad: antes había fincas que no contaban con electricidad y por tanto estas no podrían hacer tantos cambios como aquellas que si se veían beneficiadas con este servicio. Asimismo, contar con acceso al agua es necesario. Todos cuentan con ambos recursos actualmente.</p>

Cultural	Este es uno de los capitales a los que en la discusión se le da mayor énfasis. La cultura de Hojancha es reconocer el cambio como una constante y la crisis como una oportunidad. Resaltan que se diferencian de Nandayure porque la gente es muy receptiva a los cambios y no se aferra. No son tradicionalistas y fácilmente implementan cambios. Insisten en exaltar que no importa el acceso a crédito, la política, el estado de los caminos y los demás factores si una persona tiene el sentido de innovación y la voluntad para hacer cambios.
Natural	Hay que tomar en cuenta la vocación agropecuaria de la finca.  Los cambios dependen de las condiciones climáticas y topográficas y esto tiene un gran peso sobre los demás factores.

### 3. Conclusión: aprendizajes obtenidos de la dinámica

-Hojancha inicia siendo una zona productora de granos básicos, posteriormente de ganado y finalmente una zona que ha evolucionado hacia tener usos forestales. Ningún uso se ha perdido, todos se han mantenido a través de la diversificación de fincas.

-El uso ganadero es el que más se ha mantenido a través del tiempo debido al aspecto cultural y a la liquidez que proporciona al productor.

-Está claro que este uso de suelo persiste en parte debido al componente cultural. Por lo que podría pensarse que los usos forestales podrían perpetuarse a futuro a través de la cultura sin tener que depender en incentivos. A pesar de que ya hay una cultura de conservación, discuten los participantes, es muy difícil mantener la actividad forestal sin incentivos y con retornos tan a largo plazo. Es por esto que recalcan la importancia de la diversificación de las fincas.

-A pesar de que el cambio general ha sido de pasto a usos forestales, se han dado cambios hacia otros usos, lo cual depende en gran medida de las características y particularidades de la finca.

-El acceso al agua es un factor clave para hacer mejoras o cambios en las fincas. Es

uno de los que tiene más peso en las discusiones de los participantes. Asimismo, el componente cultural también tiene gran peso.

-Con respecto a los factores que influyen los cambios de uso de la tierra a nivel de fincas y paisaje los participantes consideran que:

- En el capital humano los factores influyentes son la educación, las capacitaciones y la familia como unidad de trabajo.
- A nivel cultural el apego a la actividad (tradición), la cultura de solidaridad, la cultura de colectividad y actitud positiva al cambio.
- A nivel financiero, la rentabilidad, el acceso a crédito, el contexto económico en el que el cantón está inserto y la deuda. Las remesas no son de gran importancia.
- A nivel social las organizaciones sociales, el valor de la colectividad para lograr hacer mejoras en la finca, las organizaciones informales y la influencia del otro.
- A nivel ambiental el acceso al agua, las características climáticas y topográficas (vocación), la calidad del suelo para producción.
- A nivel físico los medios de transporte, la infraestructura, los caminos y el acceso a servicios públicos.
- A nivel político el PSA y los incentivos.

-\*Cabe señalar que en el aspecto social los participantes incluyeron factores como el aporte de los miembros de la familia y el manejo de la finca de forma integral, lo que muestra que la familia se concibe como una unidad que es parte de un entramado social. La participación en este entramado es la que en parte permite desarrollar cambios en la finca y en el manejo de los sistemas productivos por la colaboración entre personas.

## **TALLER DE PRODUCTORES**

### **1. Recuperación del proceso vivido**

El taller con productores se realizó el 30 de abril en las oficinas subregionales del MINAET en Hojanca. A este taller asistieron productores de vocación forestal, ganadera y cafetalera principalmente. En menor grado hubo representación de cítricos.

Para el desarrollo de este taller se tomaron como insumo los factores políticos, humanos, financieros, ambientales, físicos, culturales y sociales definidos por los funcionarios en el grupo focal realizado el 28 de abril. Basado en estos factores se escribió en tarjetas de colores situaciones de la vida diaria de los productores. Por ejemplo: "cuando el vecino hace cambios me motiva a que yo haga cambios en mi finca" (capital social: la influencia del otro), "como tengo tanta deuda me cuesta hacer cambios" (capital financiero: deuda), etc.

Se formaron dos grupos y a cada uno se le entregó el mismo grupo de tarjetas. Seguidamente cada grupo tenía que colocar las tarjetas en un paleógrafo con el título "Factores

que han hecho que yo haga cambios en mi finca” y dividir las en dos categorías: “si me influyen” y “no me influyen”.

## **2. Análisis del proceso**

### **Resultados del grupo 1**

“Factores que han hecho que yo haga cambios en mi finca”

<b>“Si me influyen”</b>	<b>“No me influyen”</b>
<b>Mi finca es quebrada y por eso y por eso me cuesta hacerle cambios</b>	No hago cambios que me gustaría hacer porque mis hijos no me ayudan
<b>Mi finca es plana y es muy fácil hacerle cambios</b>	Si estoy asociado no cambio la actividad principal de la finca
<b>Gracias a los préstamos he podido hacer mejoras</b>	Cambio del clima
<b>Como debo plata me gustaría o he vendido tierra</b>	Si mis vecinos hacen algún cambio en la finca yo los sigo
<b>Si me hace falta un insumo en la finca otro finquero me puede ayudar</b>	Como contamos con los ingresos de mi esposa no me preocupa trabajar tanto en la finca
<b>Me gusta hacer cambios</b>	
<b>Si hay calles que pasan cerca de la finca y están en buen estado me interesa producir más</b>	
<b>Aunque se acabe el incentivo de PSA quiero conservar la parte forestal de mi finca</b>	
<b>Como recibo incentivos no corto árboles</b>	
<b>Mi esposa me aconseja sobre los cambios que puedo hacer en la finca</b>	
<b>Lástima que mis hijos no están interesados en seguir con el trabajo de la finca</b>	

---

**Como debo plata no puedo hacer cambios en la finca**

**Las organizaciones del cantón me ayudan a trabajar mejor la finca**

**No me importa la vocación, hago cambios en mi finca según mis necesidades económicas**

**Los cambios que hago dependen de la vocación de la finca**

**Mi finca atrae animales y para conservar eso no elimino bosque**

**Tengo bosque y no lo corto**

**Tengo un río o nacimiento en la finca o cerca**

**Si me hace falta mano algún amigo me la presta**

---

## **Resultados del grupo 2**

Factores que han hecho que yo haga cambios en la finca

<b>Si me influye</b>	<b>No me influye</b>
<b>Me gusta hacer cambios</b>	Como recibo incentivos no corto árboles
<b>Las organizaciones del cantón me ayudan a utilizar mejor la finca</b>	Como contamos con los ingresos de mi esposa, no me preocupa tanto trabajar en la finca
<b>Como debo plata no puedo hacer cambios en la finca</b>	Como debo plata me gustaría o he vendido tierra
<b>Mi finca atrae animales y para conservar eso no elimino bosque</b>	Lástima que mis hijos no están interesados en seguir con el trabajo de la finca

---

<b>Cambios en el clima</b>	Los cambios que hago dependen de la vocación de la finca
<b>Tengo fuentes de agua para producción</b>	Mi esposa me aconseja sobre los cambios que puedo hacer la finca
<b>Tengo bosque y no lo corto</b>	
<b>Si mis vecinos o amigos hacen algún cambio en la finca, yo los sigo</b>	
<b>Si estoy asociado no cambio mi actividad principal en la finca</b>	
<b>Tengo un río o naciente cerca de la finca</b>	
<b>Gracias a los prestamos he podido hacer mejoras en la finca</b>	
<b>No importa la vocación, hago cambios en la finca según mis necesidades económicas</b>	
<b>Si hay calles que pasan cerca de la finca y están en buen estado me interesa producir más</b>	
<b>Aunque se acabe el incentivo de PSA quiero mantener la parte forestal en la finca</b>	
<b>Si me hace falta mano de obra en la finca algún amigo me presta la de él</b>	
<b>Puedo vender mi producto gracias a mis vecinos amigos o familiares</b>	
<b>Si me hace falta algún insumo para la finca otro finquero me puede ayudar</b>	
<b>Mi finca es plata y es muy fácil hacerle cambios</b>	
<b>Mi finca es quebrada y es más difícil trabajarla</b>	

### Resultados consensuados

"Si me influye"	"No	me	Diferencias
influyen"			entre grupos
Mi finca es quebrada y por eso y por eso me cuesta hacerle cambios	Como contamos con los ingresos de mi esposa no me preocupa trabajar tanto en la finca	me	Como debo plata me gustaría o he vendido tierra
Mi finca es plana y es muy fácil hacerle cambios			Como recibo incentivos no corto árboles
Gracias a los préstamos he podido hacer mejoras			Mi esposa me aconseja sobre los cambios que puedo hacer en la finca
Me gusta hacer cambios			Lástima que mis hijos no están interesados en seguir con el trabajo de la finca
Si hay calles que pasan cerca de la finca y están en buen estado me interesa producir más			Los cambios que hago dependen de la vocación de la finca
Aunque se acabe el incentivo de PSA quiero			No hago cambios que me

conservar la parte forestal de mi finca	gustaría hacer porque mis hijos no me ayudan
Como debo plata no puedo hacer cambios en la finca	Si estoy asociado no cambio la actividad principal de la finca
Las organizaciones del cantón me ayudan a trabajar mejor la finca	Cambio del clima
No me importa la vocación, hago cambios en mi finca según mis necesidades económicas	Si mis vecinos hacen algún cambio en la finca yo los sigo
Mi finca atrae animales y para conservar eso no elimino bosque	
Tengo bosque y no lo corto	
Tengo un río o nacimiento en la finca o cerca	
Si me hace falta mano de obra algún amigo me presta la de él	
Si necesito algún insumo otro finquero me puede ayudar	

### 3. Conclusiones: aprendizajes de la dinámica

-Según los productores los factores influyentes son:

- En el capital ambiental, la cobertura boscosa, la presencia de fauna, la topografía de la finca, la cercanía de agua.
- En el capital financiero, los créditos, la deuda, el contexto económico (necesidades del hogar y tendencias de mercado)



- En el capital social, las organizaciones, las redes informales
- En el capital cultural, la cultura de cambio, de colectividad
- En el capital físico, el estado de los caminos
- En capital humano, las capacitaciones

-Los factores no influyentes son:

- En el capital financiero, el trabajo de la esposa

-Los factores que causaron diferencias entre los dos grupos se deben a que las experiencias de uno o más individuos se impusieron al resto del grupo o por el liderazgo de alguno de los integrantes. A pesar de ello, es importante tener en cuenta que era un taller con un número dado de participantes, por lo que es probable que estas diferencias muestren la diversidad de opiniones y/o experiencias de toda la comunidad.

Anexo 2. Hojas de ordenes en el programa matemática

Primer par de Ecuaciones  
Capital Financiero y social

$$\text{finan} = e'[t] = g e[t](1 - e[t]/\hat{e}) (e[t]/c - 1) + \gamma s[t];$$

$$\text{social} = s'[t] = \alpha s[t] (\hat{s} - e[t]);$$

donde,

e= es el capital financiero

g= el efecto de los parametro del capital financiero

k= el maximo de capital financiero posible

c= capital financiero inducido o inicial

$\gamma$ = efecto de los parametro del capital social sobre el financiero

s= capital social

$\alpha$ = efecto de los parametros del capital social

$\hat{s}$ = capital social maximo

## Equilibrios

solution = Solve[{finan/.{e'[t]→0},social/.{s'[t]→0}},{e[t],s[t]}]

{s[t]→0,e[t]→0},{s[t]→0,e[t]→c},{s[t]→0,e[t]→ $\hat{e}$ },{s[t]→(g  $\hat{s}$  (c  $\hat{e}$ -c  $\hat{s}$ - $\hat{e}$   $\hat{s}$ + $\hat{s}^2$ ))/(c  $\gamma$   $\hat{e}$ ),e[t]→ $\hat{s}$ }

Dimensions[solution]

{4,2}

(s, e)

(0,0); (0,c); (0,k),((g  $\hat{s}$  (c k-c  $\hat{s}$ -k  $\hat{s}$ + $\hat{s}^2$ )) / (c k  $\gamma$ ),  $\hat{s}$ )

## Determinacion del tipo de equilibrio

JacobianMatrix[f\_List, var\_List]:= Outer[D, f, var];

J= JacobianMatrix[{finan [[2\[RightDoubleBracket], social [[2\[RightDoubleBracket]],{e[t],

s[t]}];MatrixForm[J]

(\[NoBreak]{

{(g e[t] (1-e[t]/ $\hat{e}$ ))/c+g (-1+e[t]/c) (1-e[t]/ $\hat{e}$ )-(g e[t] (-1+e[t]/c))/ $\hat{e}$ ,  $\gamma$ },

{- $\alpha$  s[t],  $\alpha$  (-e[t]+ $\hat{s}$ )}

}\[NoBreak])

A=J/.solution[[4]]

```
{-((g s (-1+s/c))/e)+(g s (1-s/e))/c+g (-1+s/c) (1-s/e),y},{-((g a s (c e-c s-e s+s  
2))/c y e),0}}  
FullSimplify[Det[A]]  
(g a (c-s) (e-s) s)/(c e)  
FullSimplify[Tr[A]]  
(g (-c e+2 (c+e) s-3 s^2))/(c e)
```

Graficos

```
param={e -> 200, c -> 60, g -> 0.4, a -> 0.5, y -> 0.5, s -> 20};  
sol=NDSolve[{e'[t]==g e[t](1-e[t]/e) (e[t]/c-1) + y s[t]/.param, s'[t]==a s[t] ( s-e[t])/param,  
e[0]==21,s[0]==1},{e,s},{t,0,100}]  
{e->InterpolatingFunction[{{0.,100.}},<>],s->InterpolatingFunction[{{0.,100.}},<>]}
```

```
pe=Plot[Evaluate[e[t]/.sol],{t,0,100},PlotRange->All,  
Ticks->None,AxesLabel->{t,e},AxesOrigin->{-  
1,15},FormatType->StandardForm,BaseStyle->Medium,PlotStyle->Thick,LabelStyle->Large,  
AxesStyle->Thick]
```

```
Export["C:\Documents and Settings\user\My Documents\catie 2010\info  
Tesis\mathematica\ceconomico2.jpg",pe,ImageSize->700]  
C:\Documents and Settings\user\My Documents\catie 2010\info  
Tesis\mathematica\ceconomico2.jpg
```

Grafico Equilibrio

```
Plot[(g s (c e-c s-e s+s^2))/(c e y).{g->0.2,e ->100,c->15,y->0.05},{s,0,110}]
```

Grafico del equilibrio

```
p1=VectorPlot[{a s (s-e), g e (1-e/k) (e/c-1) + y s}/.{k->100,c->60,g->0.4,a->0.5,s  
->20,y->0.5},{s,0,70},{e,0,30},  
StreamPoints->30,StreamStyle->Red,VectorPoints->20,VectorStyle->Black,Ticks->None ]
```

```
p2=ParametricPlot[Evaluate[{s[t],e[t]}/.sol],{t,0,100},PlotRange->All]
```

```
equilibrio1=Show[p1,p2]
```

```
human=h'[t]==d h[t](1-h/h)-r  
h'[t]==-r+d h[t] (1-h/h)
```

```
Plot[d h (1-h/h)-r/.{h ->80, d->25,r->15},{h,3,70}]
```