

# *Simulación dinámica aplicada a la gestión socioambiental empresarial en proyectos de infraestructura concentrada*

Recibido para evaluación: 14 de Septiembre de 2004  
Aceptación: 16 de Noviembre de 2004  
Recibido versión final: 02 de Diciembre de 2004

Mauricio Díaz E.<sup>1</sup>  
Gloria Elenia Peña Z.<sup>2</sup>

## RESUMEN

En este trabajo se presenta una aproximación teórica y metodológica a la utilización de dinámica de sistemas para contribuir en la comprensión y manejo de la complejidad de los desafíos de gestión que aparecen en las fases de diseño, construcción y operación de grandes proyectos de infraestructura concentrada, tales como puertos, hidroeléctricas y complejos industriales. La localización de este tipo de proyectos desencadena impactos socioambientales en sus áreas de influencia que requieren una gestión estratégica por parte de las empresas propietarias, no sólo para cumplir con la normatividad ambiental vigente sino también para asegurar la viabilidad social de sus proyectos.

**PALABRAS CLAVE:** Simulación Dinámica, Complejidad, Sistemas Sociales, Impacto Socioambiental, Gestión Socio - Ambiental.

## ABSTRACT

This work presents a theoretical and methodological approach to system dynamics utilization to contribute in the comprehension and handle of complexity of management challenges what appears in design, construction and operation phases in concentrate infrastructure projects like as ports, big dams and industrial parks. The localization of this kind of projects generate socio environmental impacts in their influence zones, what requires a strategically management from enterprise owners, not only for to comply with current environmental laws but also ensure social viability of their projects.

**KEY WORDS:** Dynamic Simulation, Complexity, Social Systems, Social Environmental Impact, Socio Environmental Management.

1. Lic. en Ciencias Sociales, Especialista en Gestión y Planeación del Desarrollo Urbano y Regional y Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo.  
Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Posgrado en Gestión Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín  
diazbedoya@epm.net.co

2. Ingeniera Industrial, Magíster en Ingeniería de Sistemas y Ph D en Ingeniería de Organización  
Escuela de Sistemas, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.  
gepena@unalmed.edu.co

## 1. INTRODUCCIÓN

Este artículo está basado en la tesis de maestría "Simulación dinámica aplicada a la gestión ambiental empresarial en proyectos de infraestructura concentrada" desarrollada por el autor principal y dirigida por la coautora. En el se presentan los resultados de investigación de las posibilidades de aplicación de simulación dinámica en la gestión socioambiental empresarial en proyectos de infraestructura concentrada. Se exponen alternativas para construir modelos de simulación de fenómenos socioambientales con dinámica de sistemas, el comportamiento de sus variables en un entorno complejo y se vislumbran estrategias para el manejo de los impactos socioambientales producidos por la construcción y operación de proyectos de infraestructura concentrada como puertos, centrales hidroeléctricas y parques industriales.

En principio el proyecto de investigación se orientaba a explorar la posibilidad de modelar el comportamiento dinámico de variables demográficas y territoriales en una región específica. El interés se centraba en simular las alteraciones de estas variables debido a la construcción de proyectos de infraestructura concentrada y prospectar la magnitud y probabilidad de ocurrencia de los impactos de una manera dinámica, con la intención de complementar la visión estática que predomina en los estudios ambientales.

Con el avance de investigación aparecieron dos elementos significativos que impusieron un giro al proyecto. De una parte se evidenció la esencia compleja de las transformaciones demográficas y territoriales, lo cual hacía indispensable considerar más variables de las que inicialmente se había presupuestado, concretamente las relacionadas con los subsistemas económico, de servicios, cultural y político. De otra, el estudio de las diferentes metodologías disponibles para desarrollar modelos de simulación y la profundización en Dinámica de Sistemas (DS en adelante), indujeron un giro en el proyecto hacia el desarrollo de un modelo que intentara integrar la mayoría de las variables que se estudian en el componente social de los estudios ambientales. Además se buscó integrar en el modelo variables de gestión socioambiental, con el fin de responder a preguntas del tipo: ¿Qué pasaría si...? propias de la prospección de escenarios de gestión, con base en conjuntos de estrategias diferentes. En suma se vio la pertinencia de pasar del objetivo de construir un modelo para análisis y prospección de transformaciones demográficas y territoriales a la exploración de las posibilidades para el diseño de un simulador de gestión socioambiental.

El trabajo es una aproximación inicial al tema con el objetivo de iluminar posibles caminos, indicar dificultades y oportunidades, descartar hipótesis y proponer alternativas de modelación. Es una labor exploratoria y como tal contiene ideas, preguntas e hipótesis puestas sobre la mesa para iniciar un proceso de falsación científica. Su principal cualidad es la mirada de conjunto a la posibilidad de desarrollar simuladores o Micromundos de gestión socioambiental.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La construcción de grandes proyectos de infraestructura genera transformaciones demográficas en sus áreas de influencia por la llegada de población itinerante, flotante y migratoria, con la consecuente alteración de la estructura y dinámica de la población local, aumento de la fuerza laboral y todos los impactos asociados a estos fenómenos. También ocasiona transformaciones en el territorio como cambios en el uso del suelo, aumento del costo de la tierra, las viviendas y los arrendamientos, cambios en el desarrollo urbano y regional y transformaciones de orden económico, político y cultural (MME / ISA, 1994; ISAGEN / BAA, 2002 y 1999).

Estos temas normalmente son abordados por campos disciplinarios como la Demografía, la Geografía Humana, la Geografía Económica, la Economía, la Sociología, la Antropología y las Ciencias Políticas. En estos campos se han logrado desarrollos significativos para la comprensión de los fenómenos en estudio, pero sólo recientemente aparecen esfuerzos académicos orientados a integrar de manera interdisciplinaria estos saberes para abordar aspectos concretos de la problemática socioambiental. Uno de ellos es el de las transformaciones demográficas y territoriales que ocurren por la localización de grandes proyectos de infraestructura y la aparición de impactos socioambientales



que requieren medidas de manejo. Ahora es imperativo integrar saberes de diversas disciplinas para analizar los efectos de la inserción regional de proyectos de infraestructura.

Preguntas como ¿cuanta población llegará atraída por el proyecto? ¿De esta población cuanta es migrante, cuanta itinerante y cuanta flotante? ¿Cómo se transformará la estructura y dinámica demográfica regional? ¿Cómo alterarán estos cambios el mercado de trabajo, la demanda de servicios públicos, de servicios sociales, de vivienda, de facilidades urbanas? ¿Cómo cambiará el uso del suelo urbano y rural? ¿Cómo afectarán estos cambios la dinámica del desarrollo regional en el territorio en el mediano y largo plazo?, ¿Cómo se comportará la adaptación cultural y la conflictividad política?, ¿Cuál es la mejor estrategia para gestionar los impactos, en términos de costo/beneficio para la empresa impulsora del proyecto y para la región receptora?; son preguntas que generalmente se quedan sin respuestas confiables que sirvan de base para avanzar hacia una gestión ambiental preventiva, que minimice los impactos negativos y maximice los impactos positivos.

La respuesta a estas preguntas básicas para la gestión socioambiental, pasa por la búsqueda de respuestas a preguntas de tipo teórico y metodológico, tales como:

- ¿Que tipo de relaciones se establecen entre la localización de un proyecto de infraestructura, la dinámica demográfica, la transformación del territorio y la alteración de sus subsistemas económico, de servicios públicos y sociales, cultural y político en una región específica?
- ¿Que proporción de estas alteraciones son atribuibles a la localización de un proyecto de infraestructura y que proporción corresponde a la dinámica endógena de la región?
- ¿Se pueden establecer correlaciones y causalidades válidas entre las variables demográficas, territoriales, económicas, de servicios, culturales y políticas que permitan prospectar su comportamiento, con un enfoque sistémico?

Estas preguntas acotan el problema de investigación y permiten definir el objetivo de diseñar, construir y probar un prototipo de simulador de gestión socioambiental para analizar y prospectar el comportamiento dinámico de las variables más significativas de los subsistemas: demográfico, territorial, económico, de servicios públicos, de servicios sociales, cultural y político, debido a la localización de grandes proyectos de infraestructura concentrada en una región hipotética. Se busca explorar la posibilidad de diseñar y usar este tipo de simuladores.



### 3. METODOLOGÍA

El logro del objetivo propuesto requirió hacer uso de un conjunto de métodos de carácter interdisciplinario para alumbrar el problema de investigación:

- Construcción de un marco epistémico común entre las áreas de saber concurrentes con el fin de definir las categorías de análisis, supuestos y metodologías necesarias para el diseño del modelo. Se trabajó con base en revisión bibliográfica y documental.
- Definición de las variables, factores e indicadores de variables que conforman los elementos del sistema, identificación de las interrelaciones y formulación de hipótesis de trabajo para el diseño del modelo. El soporte epistemológico de esta tarea es la Teoría General de Sistemas.
- Aplicación de técnicas de simulación dinámica para la construcción del modelo y pruebas preliminares.
- Prueba y calibración del modelo con un proyecto hipotético basado en datos paramétricos de los proyectos hidroeléctricos Miel I y Porce III.
- Lineamientos de una metodología de trabajo con simuladores de gestión socioambiental aplicados a educación, aprendizaje empresarial y toma de decisiones de gestión.

El esfuerzo investigativo se centró en la identificación de patrones y estructuras comunes a diferentes sistemas sociales intervenidos por la construcción y operación de proyectos de infraestructura y en la gestión de los impactos ocasionados. Para calibrar el modelo se trabajó con

un proyecto de desarrollo hidroeléctrico hipotético localizado en un área de influencia también hipotética, tomando como base algunas características técnicas y de área de influencia de los proyectos hidroeléctricos Miel I y Porce III. Miel I es un proyecto de propiedad de ISAGEN S.A. localizado en el departamento de Caldas con una capacidad instalada de 375 MW que terminó construcción en el año 2002 (ISAGEN / BAA, 2002 y 1999). Porce III es un proyecto de E.E P.P.M localizado en el departamento de Antioquia con una capacidad instalada de 660 MW que actualmente está iniciando la fase de construcción (EE.P.P.M, 2002).

Se eligieron estos proyectos porque cuentan con estudios socioambientales que recogen el conocimiento y las experiencias más recientes del sector eléctrico colombiano en gestión ambiental. Además están localizados en regiones periféricas a los grandes centros urbanos donde normalmente se construyen este tipo de proyectos de infraestructura, por lo que las características de sus áreas de influencia tienen ciertas similitudes en cuanto a las dinámicas demográficas, territoriales, socioeconómicas, culturales y políticas. Si bien el modelo desarrollado corresponde a un proyecto hipotético, el hecho de tomar datos paramétricos existentes garantiza que los resultados de simulación se acerquen al comportamiento real de las variables de interés y por tanto los hallazgos pueden ser aplicados a proyectos de infraestructura haciendo los ajustes estructurales y paramétricos necesarios.

La aproximación al problema de investigación se intentó desde la perspectiva del paradigma de la complejidad, lo cual define una mirada, unos problemas y unos supuestos. En lo metodológico se prestó especial atención a la estructura del modelo y la calibración se hizo con datos hipotéticos muy ajustados a situaciones reales. Se trabajó con Vensim DSS 5.3 (VENSIM, 2003 A, B y C).

De acuerdo con los planteamientos expuestos se identificaron como elementos estructurantes de un sistema para simulación dinámica la calidad socioambiental regional, la ejecución del proyecto, el impacto socioambiental y la gestión socioambiental. Estos elementos se definen conceptualmente así:

- **Calidad socioambiental regional:** Hace referencia a las condiciones sociales del área de influencia regional donde se localiza el proyecto entendida como un sistema autorregulado. Este sistema tiene una dinámica interna que determina el comportamiento de las variables que lo estructuran y que depende de su patrón de organización, de los flujos que conectan el sistema con su entorno y de las estructuras encarnadas materialmente, mediante un proceso evolutivo permanente (Ulrich y Probst, 1984; Capra, 2003).
- **Ejecución del Proyecto:** Es el desarrollo de un conjunto complejo de acciones orientadas a la materialización de un modelo de desarrollo mediante la inversión de capital humano, tecnológico y cultural que transforma el medio ambiente. La ejecución de un proyecto se divide en las etapas de diseño, construcción, operación y desmantelamiento (Ángel, Carmona y Villegas, 2001; Correa 1999).
- **Impacto socioambiental:** Es la introducción de factores exógenos de cambio en la calidad socioambiental por la ejecución de un proyecto de infraestructura. Estos cambios pueden ser de dos tipos: modificaciones en la dinámica de las variables existentes en el sistema o emergencia de nuevas variables por un proceso de bifurcación o catástrofe de la dinámica del sistema (López, 2000; Aracil, 1979).
- **Gestión socioambiental:** Es la ejecución de un conjunto de acciones encaminadas a prevenir, mitigar, controlar o compensar los impactos ambientales ocasionados por la ejecución de un proyecto. La gestión puede ser de dos tipos: gestión vertical cuando no toma en cuenta a los habitantes del área de influencia y participativa cuando toma en cuenta sus puntos de vista y se esmera en negociar significados buscando el mayor beneficio posible para todas las partes (Ángel, Carmona y Villegas, 2001; Correa, 1999).

En la Figura 1 se expone el sistema de relaciones de realimentación y retardos que se establecen entre estos elementos. Este modelo genérico de relaciones que sintetiza el problema de investigación se conoce como arquetipo sistémico (Wolstenholme, 2003).



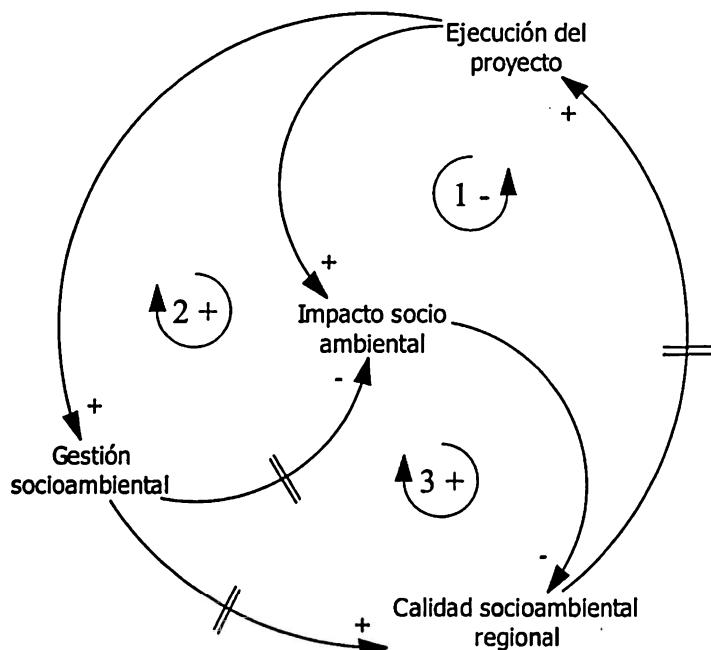


Figura 1.  
Arquetipo de gestión socioambiental

Se observan tres bucles de realimentación que definen el comportamiento del sistema:

- En el escenario de ejecución del proyecto sin gestión socioambiental aparece un bucle de realimentación negativa (1-) entre ejecución del proyecto – impacto socioambiental y calidad socioambiental regional, que tiende a equilibrarse en un escenario de baja calidad socioambiental regional, hasta frenar la posibilidad de ejecutar el proyecto.
- En el escenario de ejecución del proyecto con gestión socioambiental aplicada únicamente a la atención de impactos socioambientales aparece un bucle de realimentación positiva (2+) entre gestión socioambiental – impacto socioambiental - calidad socioambiental y ejecución del proyecto. Este bucle refuerza el anterior, mejorando la calidad socioambiental regional y permitiendo la ejecución del proyecto.
- En el escenario de ejecución del proyecto con gestión socioambiental integral, es decir que incide directamente en el mejoramiento de la calidad socioambiental, aparece otro bucle de realimentación positiva (3+) entre gestión socioambiental – calidad socioambiental y ejecución del proyecto.

Con base en este arquetipo se diseñó un modelo de simulación dinámica denominado SimgeSOAM compuesto por siete subsistemas y 379 variables. En el diseño de este tipo de modelos se diferencian dos clases de información: datos estructurales y datos paramétricos (Aracil, 1979). Los primeros hacen referencia a la producción intelectual que explica el comportamiento estructural del sistema en estudio, por medio de modelos mentales formalizados o no en publicaciones (Doyle y Ford, 1999). Los segundos son los valores iniciales de las variables de entrada para alimentar el modelo. Para el diseño de SimgeSOAM los datos paramétricos se obtuvieron mediante la revisión de estudios ambientales de dos proyectos hidroeléctricos: Miel I y Porce III, con los cuales se construyó un proyecto hidroeléctrico hipotético denominado El Salado. Los datos estructurales se obtuvieron mediante revisión bibliográfica, entrevistas con expertos y experiencia de campo. A continuación una síntesis de la estructura de cada subsistema:

- Subsistema demográfico: Establece una distinción conceptual entre migración clásica y movilidad poblacional asociada a la localización de proyectos de infraestructura concentrada (CEDE, 1996A, 1996B, 1996C; ISAGEN S.A. / BAA, 2002 y 1999). Con base en esta distinción conceptual se diferencia la población local urbana y rural, de la población foránea que llega atraída por la construcción y operación del proyecto. La dinámica de la población aparece en



- cuatro cohortes etáreos: 0 a 5 población infantil, 6 a 17 población en edad escolar, 18 a 64 población en edad de trabajar y mayores de 65 población de tercera edad.
- Subsistema territorial: Parte de la premisa de la existencia de unidades de población - cultura – espacio – producción que configuran una estructura territorial estable en períodos de tiempo significativos (Méndez y Molinero, 1998). Con base en este concepto se definieron cinco unidades territoriales: minifundio, agricultura comercial, latifundio, unidad territorial urbana y cobertura vegetal con sus características iniciales en cuanto a cantidad de población, cantidad de suelo, cantidad de viviendas, movilidad del suelo y movilidad de la población. (Eurosur, 2003; Fajardo, 2002; Benítez, 2001).
- Subsistema económico: Simula la distribución y movilidad de la fuerza laboral y el ingreso per cápita en cada una de las unidades territoriales del área de influencia. Parte del supuesto de un área de influencia orientada a la producción local, baja generación de excedentes, mínima exportación de productos, baja inversión de capitales exógenos o endógenos y sin presencia de atractores económicos regionales, es decir una región periférica (Polese, 1998). El ingreso per cápita para cada una de las unidades territoriales se calcula en unidades de salario mínimo diario por trimestre. En el minifundio este es un ingreso de subsistencia, en tanto que en el latifundio y la agricultura comercial hay producción de excedentes y por tanto un ingreso más alto que permite la acumulación de capital. (Castellar y Uribe, 2000; Fort y Aragón, 2001; Giovenardi, 1993; Mosquera y Mora, 2002 y Gil, 1990). En la unidad territorial urbana el ingreso per cápita es casi equiparable al del minifundio, porque hay una mayor cantidad de población en edad de trabajar inactiva y porque la producción depende de la prestación de servicios. Por eso cuando se localiza un proyecto de infraestructura concentrada es el ingreso que presenta un mayor incremento asociado a la contratación de mano de obra local.
- Subsistema de servicios: Ofrece una aproximación dinámica a los problemas asociados al crecimiento de la demanda de servicios públicos (energía, acueducto, manejo de residuos sólidos y líquidos) y sociales (salud y educación) como resultado del aumento de población. Entre estos problemas los más significativos tienen que ver con la gestión de servicios públicos, la crisis adaptativa que produce la transformación de la cobertura y la dinámica de la conflictividad política latente que aparece por los intereses comunitarios asociados a la falta de cobertura.
- Subsistema cultural: Se centra en la simulación de la magnitud adimensional de la crisis cultural producida por las crisis adaptativas que producen los impactos socioambientales en las unidades territoriales urbana y rural. Se parte del concepto de cultura como adaptación dinámica de los grupos humanos a su ambiente natural y social y a las transformaciones sobre el mismo originadas en los impactos de los proyectos de desarrollo (Ángel, Carmona y Villegas, 2001). La crisis cultural aparece como consecuencia de la presión ocasionada por los impactos del proyecto sobre los sistemas culturales, presionando su transformación y presenta de manera general las fases de desajuste, transición y transformación.
- Subsistema político: Simula el comportamiento de la conflictividad política latente en las unidades territoriales rural y urbana en función de la magnitud adimensional de los intereses económicos, comunitarios, ecológicos y de la crisis cultural. Se parte de diferenciar conceptualmente problema ambiental y conflicto ambiental. Los problemas ambientales reales o percibidos son provocados por las transformaciones que introduce la construcción del proyecto en el área de influencia. Estos problemas suelen generar un clima social de conflictividad latente, que si no es desencadenado, no tiene efectos en la dinámica normal del sistema social. El conflicto político surge cuando agentes políticos capitalizan esa conflictividad latente e institucionalizan el conflicto, iniciando acciones en contra de los iniciadores del conflicto y constituyendo una "comunidad de afectados" (Carmona, 2003).
- Subsistema ejecución del proyecto: Representa el proceso de ejecución del proyecto desde la etapa de diseño hasta la de operación, la necesidad de mano de obra, el alojamiento de la fuerza laboral en campamentos y las expectativas asociadas a la construcción del proyecto. En el simulador la ejecución del proyecto es sensible a la conflictividad política representando la inconformidad social producida por los intereses no atendidos. Si se

activa el escenario con conflictividad y el valor de esta variable está por encima del 50 %, la construcción o la operación del proyecto se detienen. Esta es una forma de simular que cuando la inconformidad social producida por el proyecto no es atendida, deriva en conflictividad política activada por dinamizadores. Esta se manifiesta en marchas, paros cívicos, bloqueo de vías, motines y atentados que frenan el proceso de ejecución de los proyectos. Entre las variables de gestión se incluye la gestión con dinamizadores del conflicto que simula la alternativa de negociar o cooptar a los líderes para reducir la conflictividad. Esta se puede utilizar solamente si la conflictividad es menor al 45% para significar que este tipo de gestión es posible si no se ha pasado de la conflictividad latente a las vías de hecho. Al utilizarla se observa que se detiene la conflictividad por un tiempo, pero mientras no se actúe en las causas que la producen ella vuelve a aparecer.

#### 4. RESULTADOS

El prototipo de simulador de gestión socioambiental SimgeSOAM permite imaginar y desarrollar infinidad de escenarios y familiariza al usuario con la complejidad inherente a la gestión socioambiental. No obstante en su estado de desarrollo actual no es posible hacer análisis costo / beneficio de cada escenario ni optimizar estrategias, para lo cual se requieren desarrollos futuros con base en las herramientas de los software de simulación dinámica.

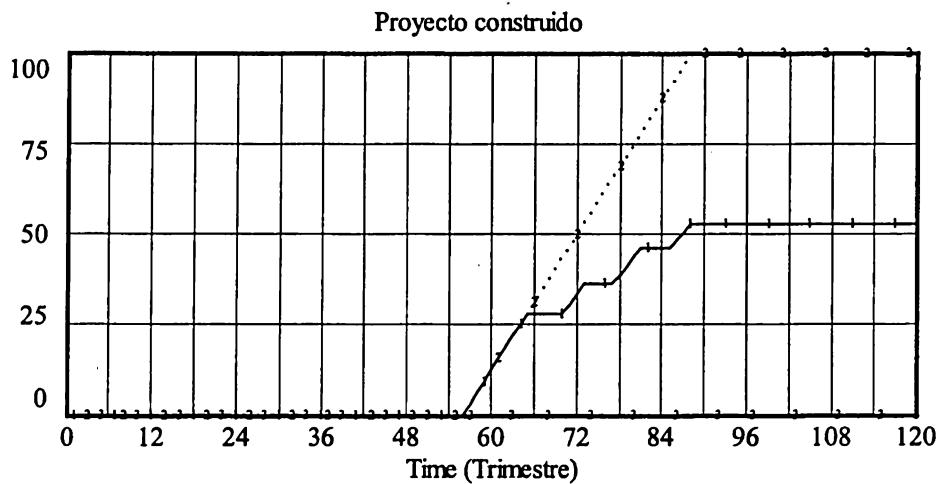
Como una muestra del tipo de análisis que se pueden hacer con el prototipo de simulador, se presentan los resultados más relevantes de un ejercicio de simulación con tres escenarios: Sin proyecto, con gestión reactiva y con gestión preventiva. Estos escenarios se definen así:

- Sin proyecto: dinámica del sistema social del área de influencia sin proyecto. Se supone que no hay fuentes que alteren de manera significativa el sistema en los 30 años de simulación.
- Gestión preventiva: escenario en donde la gestión socioambiental es preventiva con políticas muy claras desde el inicio de la etapa de estudios y planeación. Se contrata el 30% de la fuerza laboral local para no producir una deformación muy fuerte del mercado de trabajo y se compensa la necesidad de empleo invirtiendo en productividad en las unidades territoriales de minifundio y urbana. Se gestiona el cubrimiento de la demanda de servicios públicos y sociales ocasionada por la movilidad poblacional asociada al proyecto. Hay medidas de manejo claras para la población desplazada y para manejar la crisis cultural.
- Gestión reactiva: escenario en donde la gestión socioambiental es reactiva frente a las situaciones que se presentan, intentando resolver los problemas que aparecen en el día a día. No hay una política de contratación de mano de obra, por lo que en el segundo año se intenta contratar el 10% de la mano de obra local. Tampoco hay una política clara de manejo preventivo de los impactos ocasionados por la construcción y para manejar la conflictividad política que aparece por el inconformismo social, se intenta cooptar a los dinamizadores del conflicto.

En la Figura 2 se observa que en el escenario de gestión preventiva se construye el proyecto en el tiempo establecido y en el escenario de gestión reactiva el proyecto se retrasa y finalmente no se termina de construir debido al aumento de la conflictividad política sin una gestión adecuada. Este ejemplo muestra un caso extremo de ausencia de definición de políticas claras de gestión socioambiental desde el inicio del proyecto. Cuando se intenta su implementación la dinámica del sistema ya ha amplificado las consecuencias haciendo más difícil resolver el problema en cuestión.

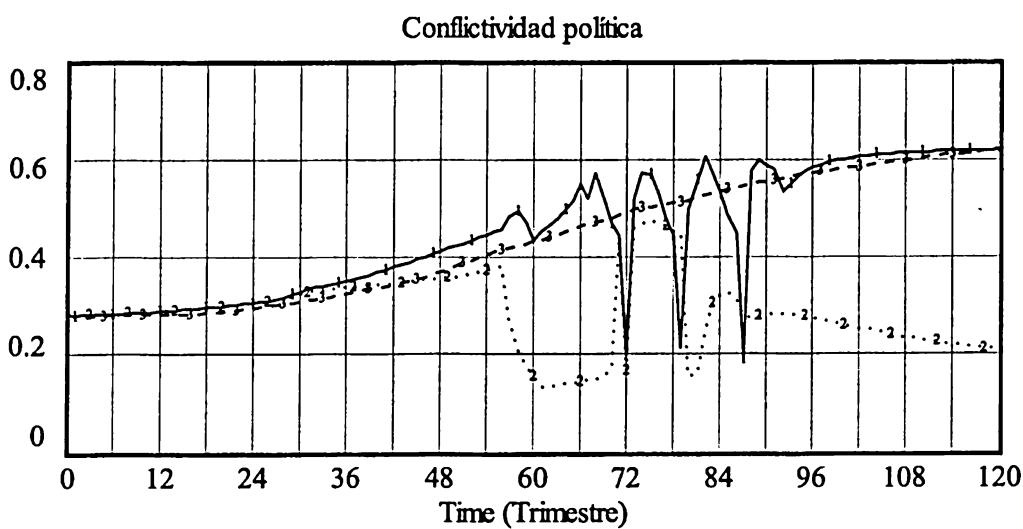
El comportamiento dinámico de la conflictividad aparece en la Figura 3. En el escenario de gestión preventiva las políticas de manejo establecidas de manera oportuna reducen su intensidad significativamente. Al inicio de la construcción y durante el desplazamiento y reubicación de población presenta un aumento pero se mantiene por debajo del límite de 50%.





*Figura 2.  
Avance en la construcción del  
proyecto*

En el escenario de gestión reactiva presenta un comportamiento oscilatorio debido al intento de cooptación de los dinamizadores. Dado que no se atienden las causas de esta conflictividad, cada vez reaparece con mayor intensidad hasta que sobrepasa el umbral del 50% y detiene la construcción del proyecto. Como se argumentó antes, este umbral se establece para significar que cuando la conflictividad política latente no es atendida, degenera en inconformismo social que en manos de dinamizadores avanza hacia el conflicto social. Este se manifiesta como marchas, motines, paros cívicos y atentados que paralizan las actividades de construcción por diversas razones.



*Figura 3.*  
*Conflictividad política*

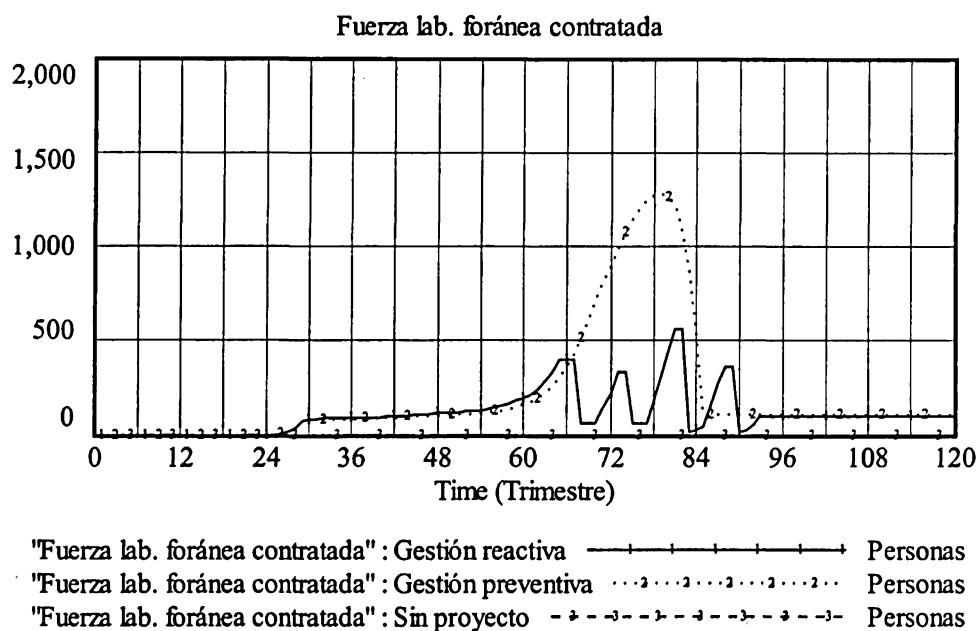


Figura 4.  
*Fuerza laboral foránea contratada*

En la Figura 4 se observa la dinámica de la fuerza laboral foránea contratada. En el escenario de gestión preventiva se contratan en el pico de contratación 1200 trabajadores foráneos y los 500 restantes se contratan entre la mano de obra local. No se presentan retrasos en el cronograma de construcción por lo que la curva de contratación evoluciona de manera normal. En el escenario de gestión reactiva esta variable adopta un comportamiento oscilatorio debido a las parálisis en la construcción por la conflictividad política sin una gestión coherente. Los trabajadores foráneos son contratados y luego despedidos porque no se puede continuar con las obras. La curva se deforma por esta razón.

La población urbana total tiene comportamientos bien diferenciados en cada escenario como se observa en la Figura 5. En el escenario de gestión preventiva hay un aumento significativo de la población durante la fase de construcción por la llegada de población foránea. Una parte de esta población corresponde a los obreros contratados y sus familias, la mayoría de los cuales se va al finalizar el periodo de construcción. Otra parte corresponde a la población que llega por expectativas, a pesar de la gestión y que se quedan después de finalizar la construcción. Se observa un aumento neto de población por encima de la dinámica sin proyecto, asociada a este fenómeno y a que la emigración local se detiene debido al alto ingreso per cápita.

En el escenario de gestión reactiva la población foránea tiene un comportamiento oscilatorio debido a los paros en el proceso de construcción y al final del periodo de simulación retoma la tendencia de la población local sin proyecto.

Finalmente en la Figura 6 aparece el comportamiento dinámico del ingreso per cápita local. En el escenario de gestión preventiva aumenta desde el inicio de diseño del proyecto debido a la inversión social en productividad del minifundio y de la unidad territorial urbana. Durante la etapa de construcción tiene un aumento significativo por la contratación del 30% de la fuerza laboral necesaria en el área local y al final cae al mismo nivel que tendría sin la construcción del proyecto.

En contraste, en el escenario de gestión reactiva, desde el inicio de los estudios cae por debajo del nivel que tendría sin la construcción del proyecto. Esto se explica por la realimentación negativa tipo "círculo vicioso" entre conflictividad política – ejecución del proyecto – desmovilización de fuerza laboral – aumento de conflictividad política que lo mantiene estable en ese nivel.



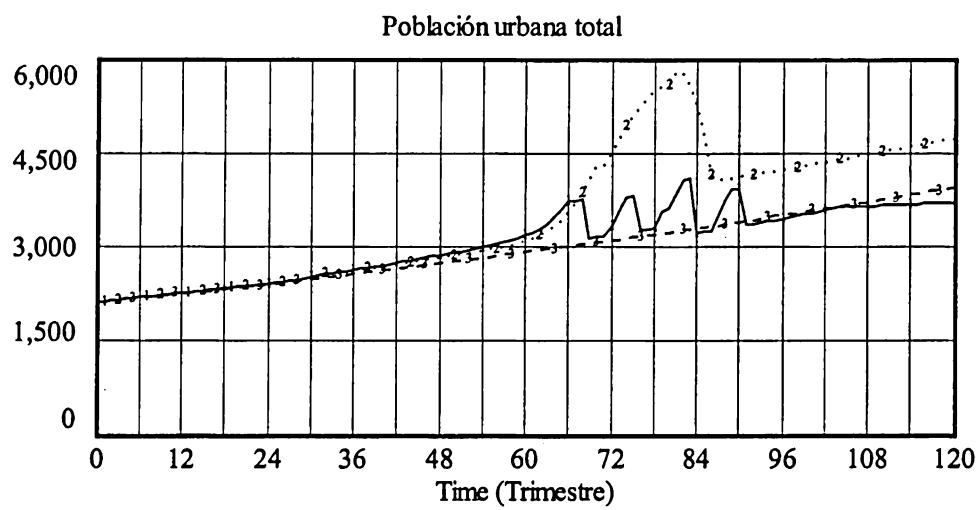


Figura 5  
Población urbana total

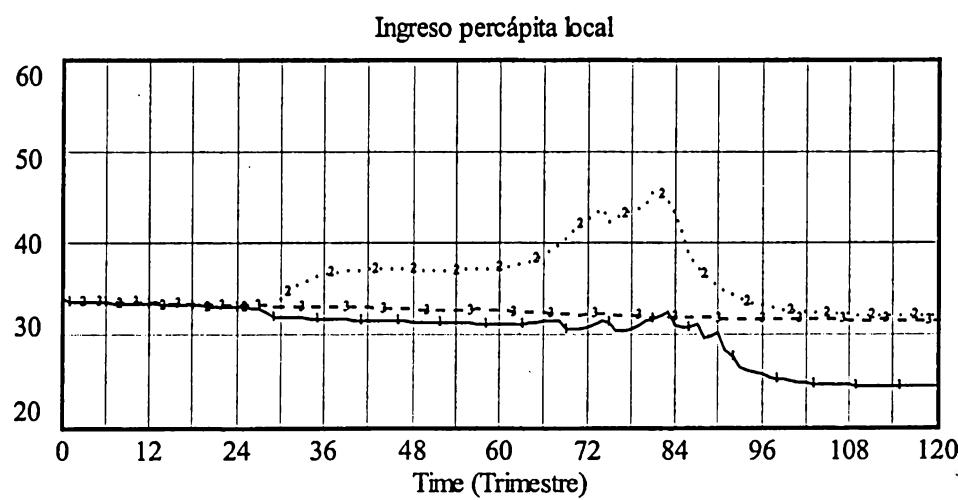


Figura 6.  
Ingreso per cápita local

Este ejercicio ejemplifica las bondades de la gestión preventiva y los peligros y trampas sistémicas de la improvisación en gestión socioambiental. Es un buen ejemplo del arquetipo de gestión “Transferencia de Carga” que explica cómo cuando se intenta resolver un problema sin actuar sobre las causas profundas, el problema realimentado aparece de manera más intensa e incisiva. Entonces cuando se toma la decisión de actuar sobre las causas puede ser demasiado tarde para lograr un resultado óptimo, porque ya se han generado pérdidas y malestar. También muestra cómo las decisiones de política en gestión ambiental pueden propiciar escenarios de mutuos beneficios para la sociedad regional y para la empresa propietaria de un proyecto.

## 5. CONCLUSIONES

- La utilización de simulación dinámica es pertinente como herramienta de apoyo en la toma de decisiones de gestión socioambiental, en la capacitación de equipos empresariales de gestión y en la formación universitaria. Es necesario continuar la investigación y desarrollo de simuladores de gestión socioambiental genéricos o específicos para proyectos de infraestructura que requieran el uso de estas herramientas de gestión.
- La frontera entre las condiciones socioambientales sin proyecto y el impacto socioambiental es difusa debido a las diversas trayectorias posibles.
- La magnitud de los impactos socioambientales está asociada a la gestión. En el simulador la línea base de comportamiento sin proyecto es una aproximación inicial para determinar la diferencia, siempre y cuando las condiciones no cambien de manera abrupta.
- En el futuro se pueden desarrollar metodologías de evaluación de impactos y diseño de medidas de gestión socioambiental acordes con este enfoque que privilegia la visión de conjunto.
- Se refuerza la necesidad de la previsión. Es más efectiva una política de largo plazo y metas moderadas que una medida de choque que intenta resolver de una vez el problema. Se corrobora la máxima de que los problemas de hoy son el resultado de las soluciones de ayer.

## 6. TRABAJO FUTURO

Bajo la premisa de la pertinencia del diseño de simuladores de gestión socioambiental y de gestión ambiental se vislumbran estos desarrollos futuros:

- Avanzar en la caracterización de la conflictividad política, identificando sus desencadenantes, la manera como estos se relacionan para conformar la conflictividad y estableciendo cuál es el límite aceptable para cada comunidad (seguramente es variable tanto entre comunidades, como al interior de una dada, dependiendo de su historia adaptativa), antes de que la situación genere un conflicto que lleve a la parálisis del proyecto.
- Desarrollo de módulos de magnitud de impactos y de costos de gestión ambiental. Entonces se tendrían elementos de juicio para optimizar estrategias de gestión que equilibren la relación costo - impacto.
- Desarrollo de módulos de aspectos biofísicos para tener una visión de conjunto de la gestión ambiental y relacionar las interacciones entre estas dimensiones de manera dinámica.
- Desarrollo de laboratorios de aprendizaje y de interfases para interacción simultánea que permitan obtener toda la potencialidad de los simuladores incluyendo la posibilidad de interacción simultánea entre usuarios.



## 7. AGRADECIMIENTOS

Al fondo de investigación del convenio Interconexión Eléctrica S.A. – Universidad Nacional Sede Medellín, por los recursos de cofinanciación para el desarrollo de este proyecto de investigación.

## 8. BIBLIOGRÁFIA

- Angel, E., Carmona, S. y Villegas, L., 2001. Gestión ambiental en proyectos de desarrollo. Posgrado en Gestión Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Aracil, J., 1979. Introducción a la dinámica de sistemas. Alianza Editorial, Madrid, España.
- Benítez, R., 2001. La problemática ambiental de la agricultura tradicional campesina. En: Documentos de trabajo de la Contraloría General de la República, dirección de asuntos sectoriales. Bogotá D.C.

- Capra, F., 2003. *Las conexiones ocultas*. Editorial Anagrama, Barcelona.
- Carmona, S., 2003. ¿Conflict? ¿Por qué? ¿Ambiental?, Una frontera difusa. Documento de trabajo, curso de negociación de conflictos ambientales", Postgrado en Gestión Ambiental, Universidad Nacional sede Medellín.
- Castellar, C. y Uribe, J. 2000. Pobreza y calidad de vida en el sector campesino colombiano: un modelo econométrico. En: documentos de trabajo, departamento de economía de la Universidad del Valle.
- CEDE, 1996a. Dinámicas demográficas colombianas: de lo nacional a lo local. Universidad de los Andes, Bogotá D.C.
- \_\_\_\_\_, 1996b Movilidad espacial en ciudades de zonas de expansión. Los casos de Yopal, Aguazul y Tauramena (Casanare), El eterno cuarto de hora, estudio cualitativo". Universidad de los Andes, Bogotá D.C.
- \_\_\_\_\_, 1996c. Movilidad espacial en ciudades de zonas de expansión. Los casos de Yopal, Aguazul y Tauramena (Casanare), Análisis de información secundaria". Universidad de los Andes, Bogotá D.C.
- Correa, H., 1999. Impactos socioeconómicos de grandes proyectos de desarrollo, evaluación y manejo. Fondo FEN Colombia, Bogotá D.C.
- Doyle, J. y Ford, D., 1999. Mental models concepts revisited: some clarifications and a reply to Lane. En *System Dynamic Review* Vol. 15 # 4, winter 1999.
- EE.PP.M., 2002. Estudio de impacto ambiental del proyecto hidroeléctrico Porce III, componente social. Documento de consultoría.
- EUROSUR, 2003. Latifundio y minifundio en América Latina. En: [www.erosur.org/](http://www.erosur.org/)
- Fajardo, D., 2002. Organización espacial y reforma agraria en una propuesta para el campo. En: Revista Tierra, # 1, julio de 2002.
- Fort, R. y Aragón, F., 2001. Impacto de los caminos rurales sobre las estrategias de obtención de ingresos de los hogares. Documento de trabajo GRADE, Lima, julio de 2001.
- Gil, A., 1990. De la agricultura tradicional a la tecnológica. Editorial Cincel, Madrid.
- Giovenardi, E., 1993. ¿Por qué son pobres los campesinos? PNUD, OIT. Serie de documentos metodológicos de desarrollo empresarial participativo.
- ISAGEN S.A. / Barón Azuero y Asociados, 2002. Censo de población en Norcasia. Documento de consultoría.
- ISAGEN S.A. / Barón Azuero y Asociados, 1999. Estudio de movilidad de población en proyectos hidroeléctricos y de la población flotante en el proyecto Miel I. Documento de consultoría.
- López H. y Martínez S., 2000. Iniciación a la simulación dinámica, Editorial Ariel, Barcelona
- MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA MME / ISA, 1994. Evaluación ambiental sectorial, sector eléctrico Colombiano, Bogotá D.C.
- Mendez, R. y Molinero, F., 1998. Espacios y sociedades, introducción a la geografía regional del mundo. Editorial Ariel, Barcelona.
- Mosquera, M. y Mora, S., 2002. Pobreza rural y generación de ingreso 1990 – 2000. En: Revista de Economía Colombiana y Coyuntura Política, febrero de 2002.
- Polese, M., 1998. Economía urbana y regional, introducción a la relación entre territorio y desarrollo Editorial tecnológica de Costa Rica.
- Ulrich, H. y Probst G., 1984. *Self – organization and management of social systems*, Springer – Verlag, Berlin.
- Vensim, 2003a. User's guide. En [www.vensim.com](http://www.vensim.com)
- \_\_\_\_\_, 2003b. Modeling guide. En [www.vensim.com](http://www.vensim.com)
- \_\_\_\_\_, 2003c. Reference manual. En [www.vensim.com](http://www.vensim.com)
- Wolstenholme, E., 2003. Towards the definition and use of a core set of archetypal structures in system dynamics. En *System Dynamic Review* Vol. 19 # 1, spring 2003.

