

# MÉTODOS DE ANÁLISIS DE REDES EN EL ABORDAJE DE PROBLEMÁTICAS COMPLEJAS DE TRANSFORMACIÓN AMBIENTAL

## Network analysis methods in addressing environmental change complex problems

*José Antonio Valero Medina<sup>1</sup> y Beatriz Elena Alzate Atehortúa<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá – Colombia, <sup>2</sup> Universidad Nacional de Colombia  
Correspondencia: jvalero@udistrital.edu.co; bealzatea@gmail.com

Recibido: 7 de septiembre de 2012    Aceptado: 23 de octubre de 2012

### Resumen

El abordaje de los problemas complejos de transformación ambiental involucra múltiples dimensiones, las cuales se relacionan entre sí a través de diversos patrones de interacción, que poseen una estructura, organización y dinámica en el tiempo; por lo tanto, requiere de métodos de análisis complejos, que acometan esos elementos interactuantes, tomando en consideración dichas relaciones múltiples e intrincadas. Los métodos de análisis de redes son de los que más se acoplan a esta necesidad de análisis y evaluación, con resultados prometedores y claves para la toma de decisiones. En este artículo se presenta la investigación realizada, la cual empleó métodos de análisis de red “completa”, para el estudio de las dinámicas de transformación ambiental, que exigió recopilar información sobre casos independientes y los vínculos entre casos, lográndose con ello caracterizar en detalle la estructura de la red y los patrones interactuantes causa-efecto de las tendencias de dicha transformación. Esto requirió una ardua labor de registro de cada relación existente.

Las redes de problemas complejos de transformación ambiental, por su carácter intrincado, exigen ser entendidas de tal forma que se pueda descifrar su estructura, funcionalidad y organización para develar el mecanismo central de interrelación de aspectos ambientales que conduzcan a la priorización de los elementos en los que la toma de decisión deberá enfocarse. De allí que las técnicas de análisis aplicadas abarcaron también la síntesis de la red a partir de los tópicos centrales, intermediarios y claves por su accesibilidad, conexión y cohesión con otros. Por ello, como parte del trabajo realizado se exploraron técnicas de visualización a través de grafos, junto con análisis de matrices que facilitaron las observaciones de tales aspectos.

**Palabras clave:** interrelaciones, transformación, ambiente, sociedad-naturaleza, tendencias, redes, causa, efecto.

### Abstract

Addressing the complex issues of environmental transformation involves several dimensions, which are interrelated through various patterns of interactions which have a structure, organization and dynamics in time. Therefore, it requires complex analytical methods, which undertake these interacting elements, taking into account these relationships. The network analysis methods are the most commonly coupled to this need of analysis and evaluation, with promising results and crucial to decision making. This article presents the research, which used “complete” network analysis methods, to study the dynamics of environmental transformation, which required separate cases information gather and defining links between them, thus achieving the detailed network structure characterization and the patterns of causal interacting trends for that transformation. This required hard work in recording of each relationship.

Networks of environmental change complex problems by their nature intricate, demand to be understood in such a way to decipher their structure, function and organization, to reveal the central mechanism of interaction of environmental issues, leading to the prioritization of the elements that decision-making should focus in. Hence, applied analysis techniques also covered network synthesis from the central, intermediaries and key issues due its accessibility, connection and cohesion with others. Therefore, as part of the work done, visualization techniques were explored through graphs, together with analysis of matrices that facilitated the observations of such aspects.

**Keywords:** interrelationships, transformation, environment, society and nature, trends, networks, cause-effect.

## Introducción

Los problemas complejos de transformación ambiental involucran la interrelación de múltiples dimensiones y órdenes que se relacionan entre sí a través de casos, actores u objetos, cuyos patrones de interacción, estructura, organización y función se hace prioritario abordar en el contexto de la toma de decisiones. Sin embargo, ese abordaje requiere de métodos de análisis complejos, que acometan esos elementos interactuantes más allá de linealidades y nociones simplificadas, y que más bien consideren relaciones múltiples e intrincadas. Ejemplos de estos problemas son aquellos que involucran la interacción sociedad-naturaleza (como el presentado en Dolly et al., 2003), abordados por la geografía y el análisis ambiental, entre otros. El análisis de redes permite observar una estructura de conexiones, lo cual es clave para el abordaje de estos problemas, cuyos casos tienen sus atributos particulares, pero también son centrales las interrelaciones entre ellos.

Las redes de problemas complejos, por su carácter intrincado, exigen ser entendidas de tal forma que se pueda descifrar su estructura, funcionalidad y organización, que conduzcan a establecer el mecanismo central de interrelación de los casos, para la priorización de los elementos en los que la toma de decisión deberá enfocarse. De allí que las técnicas de análisis a ser aplicadas, deberían abarcar también la síntesis de la red a partir de los casos centrales, intermediarios y claves por su accesibilidad, conexión y cohesión con otros casos.

El trabajo realizado exploró técnicas de visualización a través de grafos, junto con análisis de matrices que facilitaron las observaciones de aspectos tales como: conexiones entre casos (índices de causalidad, densidad, accesibilidad, conectividad) y cohesión (distancia, intermediación para centralidad), entre otros.

El objetivo principal de este trabajo fue examinar y evaluar la pertinencia de los métodos de análisis de redes para un entendimiento efectivo de los patrones de interrelaciones, estructura, funcionamiento y componentes centrales en redes de problemas complejos de transformación ambiental. Específicamente, se intentó, por un lado, explorar los métodos matemáticos y gráficos del análisis de redes, que facilitan la interpretación de conexiones y cohesión de los componentes que se interrelacionan en ellas; y por otro, establecer procesos de depuración para la identificación de los componentes del mecanismo central del funcionamiento de redes de problemas complejos de transformación ambiental, que apoyaran la toma de decisiones, hacia sus aspectos esenciales y claves.

Se espera que el trabajo realizado se constituya en un aporte para la gestión de los problemas complejos de transformación ambiental, propiciando métodos y técnicas que faciliten el abordaje de su red de interrelaciones sociedad-naturaleza. Los trabajos desarrollados en este campo son poco profusos, así como lo son aquellos que propenden por la formalización de las interrelaciones que se dan dentro de la transformación ambiental. Los instrumentos metodológicos propuestos aquí son también un medio para propiciar el diálogo multi e interdisciplinar necesario en el manejo de la transformación ambiental, cuyos aspectos a tratar son diversos y dependientes entre sí.

El artículo desarrolla en la primera parte el análisis de redes en el contexto de los problemas complejos de transformación ambiental, se definen conceptos y se trazan las pautas para el tratamiento de los datos de entrada; luego se desarrollan los aspectos centrales de los métodos y técnicas para el análisis de redes de problemas complejos y se presenta la interpretación de las funciones matemáticas empleadas. Finalmente se muestran los aspectos centrales (mecanismo central) de la red de problemas complejos, para facilitar la orientación de la toma de decisiones.

## Metodología

Dentro del trabajo realizado se definen como problemas complejos de transformación ambiental aquellos que encierran interacciones en discordancia entre los órdenes sociedad-naturaleza, órdenes estos compuestos de diversas dimensiones, que se vinculan en función de las actividades productivas humanas, tal y como lo plantea Ángel (1996). En la figura 1 se presenta esquemáticamente la interacción de las dimensiones sociedad-naturaleza, las cuales son consideradas en el abordaje de problemas complejos, como los ambientales.

**Figura 1.** Dimensiones sociedad-naturaleza de la transformación ambiental



Fuente: Autores

Cada una de las dimensiones mostradas en la figura 1 abarca ciertas tendencias de transformación que en muchos casos se convierten en conflictos graves (tendencias problemáticas), las cuales se hace necesario abordar bajo un enfoque complejo, multi e interdisciplinar, que modele en forma adecuada la red de relaciones causa-efecto que las originan. Esa red imbricada resulta algo indescifrable y poco funcional si no se analiza con métodos y técnicas

que faciliten su interpretación, entendimiento y síntesis que conduzcan a extraer los problemas centrales y en los que será necesario enfocarse al adoptar los planes de acción.

En la tabla 1 se presenta una muestra de ejemplos de tendencias problemáticas para algunas de las dimensiones posibles de análisis en un estudio de caso ambiental en el páramo de Guerrero, Cundinamarca (Alzate, 2011).

## Área de estudio

Para realizar el análisis se empleó la red de transformación ambiental del ecosistema estratégico ubicado en el páramo de Guerrero (Alzate, 2011). Esta red se diseñó en el seno de la investigación conducida por el Grupo Desarrollo Territorial Sostenible de la Universidad Nacional de Colombia, con la participación de académicos de múltiples disciplinas. El área estudiada se presenta en la figura 2. Comprende los terrenos sobre los 2.600 m. s. n. m. del eje oeste de la cordillera Oriental en los municipios de Zipaquirá, Cogua y Tausa. El páramo de Guerrero es un espacio atípico en la alta montaña colombiana. Con un ambiente seco, Guerrero ha sido habitado y significado por comunidades desde centurias. Durante los últimos sesenta años la intervención humana ha sobrepasado las mayores cotas altitudinales y ha ascendido a las cumbres más altas del páramo, basando esta “colonización” en la producción de papa y leche. Hoy en día, con el auge de los discursos ambientalistas, el páramo de Guerrero ha adquirido una importancia estratégica por sus servicios ecosistémicos, lo que ha generado modelos de manejo ambiental que chocan con los intereses de pequeños y grandes productores. Sobre ese panorama el Grupo Desarrollo Territorial Sostenible realizó la investigación.

**Figura 2.** Área de estudio de las dinámicas de transformación ambiental



Fuente: Autores





dinámicas entre las dimensiones que hacen parte del problema de transformación ambiental a ser analizado (WBGU, 1997). Para el presente caso, la relación causa-efecto en la matriz de datos se hizo explícita al registrar uno (1) en la celda de convergencia de dos tendencias, significando que la tendencia de la fila produce o ejerce un efecto sobre la de la columna. Una porción de esta matriz se muestra en la tabla 2, en la cual se pueden observar ejemplos de relaciones causa-efecto resultantes de la revisión de problemáticas ambientales planteadas por varios autores (Alzate, 2008; Bourdon, 2009; WBGU, 1997; Molano 2005), con las cuales se trabajó en el estudio de caso del páramo de Guerrero (Alzate, 2011).

### Formalización de la red de interrelaciones de la transformación ambiental

La formalización de la red de interrelaciones sociedad-naturaleza de la transformación ambiental se plantea a partir de herramientas conceptuales y metodológicas que van más allá del discurso sobre su naturaleza de orden biológico y ecológico, para discernir y ordenar funcionalmente toda la complejidad de las relaciones de lo ambiental, como las plantean Ángel (1996), Bourdon (2009) y Alzate (2008). La transformación se analizó a partir de las redes causa-efecto de los síntomas o tendencias que la caracterizan, con el fin de centrarse en el campo problemático ambiental correspondiente al espacio de articulación sociedad-naturaleza donde, al final de cuentas, deberán encontrarse las soluciones integrales a los problemas ambientales.

Las interrelaciones que suceden dentro de la dinámica de transformación ambiental pueden ser analizadas a través de redes complejas que permiten representar las relaciones causa-efecto de los síntomas o tendencias de dicha dinámica. Con el fin de llegar a acciones argumentadas, consistentes y relevantes de las situaciones conflictivas ambientales que ellos encierran, se hace necesario el uso del enfoque numérico, junto con el gráfico para “depurar” redes complejas de transformación y extraer el mecanismo central causa-efecto de la problemática ambiental. Existen numerosas herramientas de software para analizar y dibujar las redes. Durante la investigación fue empleado el software Ucinet<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Ucinet es un programa de análisis de redes sociales desarrollado por Borgatti *et al.* (2002). El programa trabaja, en conjunto, con el programa gratuito NetDraw para visualización de redes. (<http://www.analytictech.com/ucinet/>, consultado en enero de 2013).

El análisis de red usó grafos conformados por puntos o nodos, que representan los síntomas o tendencias de la transformación ambiental y líneas para representar los enlaces o relaciones causa-efecto entre ellos. Los nodos, a su vez, poseen atributos que se representan con diversos colores, formas o tamaños. En el presente ejercicio el color de los nodos (los síntomas o tendencias) hace referencia a la dimensión ambiental a la que pertenecen. Esto permitió visualizar en mejor forma los patrones existentes y a deducir la naturaleza de los procesos de transformación ambiental que generaron la estructura de los vínculos o enlaces presentes. La flecha en las líneas indica que el síntoma o tendencia es efecto de otro (relación dirigida). Cuando la relación sea recíproca entre dos síntomas o tendencias, esta será representada a través de una flecha de dos cabezas. Las relaciones implementadas fueron simples (solo un tipo de relación, la de causa-efecto).

Al representar las redes mediante los grafos se facilitó responder a cuestionamientos como los que se plantean en Hanneman y Riddle (2005, p. 31), pero llevados a la problemática ambiental: ¿existen subgrupos o clústeres locales de síntomas o tendencias que están vinculados entre sí, pero no a otros grupos?, ¿existen algunos síntomas o tendencias centrales a la transformación por tener más enlaces causa-efecto y otros que no son tan centrales? También fue posible analizar la conectividad que puede existir entre síntomas o tendencias de la transformación ambiental. ¿Existen algunos de ellos que están aislados?, ¿existen síntomas que son principalmente focos causantes del desencadenamiento de otros (poseen más conexiones dirigidas)? En síntesis, se pudo tener una idea de la importancia de los síntomas que son desencadenantes centrales de la transformación.

La matriz, que en el trabajo representa las relaciones, es dirigida; entonces, el causante de cierto síntoma o tendencia se ubica en las filas y su efecto o consecuencia se ubica en las columnas. También es importante considerar que todos los elementos de una fila conforman el vector fila de un síntoma o tendencia; el efecto o causa de este síntoma constituye su vector columna. Esto resulta de interés para realizar algunas operaciones sobre las filas o columnas vectores. La suma de los elementos de un vector columna de cierto síntoma o tendencia señalará qué tantos ejercieron efecto sobre él o qué tantos lo desencadenaron. Las sumas de los vectores fila pueden llevarnos a discernir aquellos síntomas o tendencias más desencadenantes de efectos o transformaciones que afectan a otros síntomas o tendencias.

Esta herramienta es útil cuando se trata de una gran cantidad de relaciones causa-efecto, cuya graficación, en lugar de ayudar, podría “enmascarar” ciertas características de la estructura de la transformación. Entonces, el empleo de índices numéricos (en una matriz) que describan los grafos, se hace imprescindible.

### **Análisis de la red de transformación ambiental**

La experiencia se basó en la consideración de que descifrar, comprender y reconstruir la transformación dinámica ambiental en el páramo de Guerrero, sería el medio idóneo para adoptar decisiones en cuanto al abordaje de las diversas problemáticas, las cuales circunscriben dimensiones ambientales de tipo social, cultural, económico, político-institucional y biofísico, interactuantes durante continuos temporales de construcción de un espacio, cuyo entendimiento llevará a soluciones más acordes con las realidades de los actores y dinámicas que allí coexisten y que hacen parte activa de dicho abordaje. Los métodos aquí propuestos permitieron, en buena parte, cumplir con los objetivos de comprender, reconstruir y enfocarse en los puntos claves de esa transformación del páramo.

A continuación se desarrollan algunos de los métodos usados en el análisis de esta red de transformaciones dinámicas.

### **Métodos gráficos de análisis de la red de transformación ambiental**

Las interacciones propias de las problemáticas complejas reflejan las cualidades del cambio, más que las cantidades, por lo cual requieren de herramientas especiales para ser entendidas y organizadas, de tal forma que pueda extraerse la esencia de sus dinámicas y se prioricen los aspectos centrales de estas últimas. Los grafos o redes gráficas facilitan llevar a cabo representaciones de la situación de cambio, en una forma palpable y más clara; sin embargo, ellas deben ser complementadas con instrumentos matemáticos específicos, con los cuales se generen indicadores capaces de explicar la estructura de esa red gráfica tanto en su conjunto, como para casos separados. La herramienta de software usada para este fin fue NetDraw. 2.097<sup>2</sup>. A partir de la matriz numérica de unos, que declaran cada relación causa-efecto

se generó el grafo general de interrelaciones (mostrado en la figura 3 a). Dicha matriz abarcó las relaciones causa-efecto entre 134 tendencias problemáticas de la transformación ambiental. Para ello fue necesario analizar cada relación entre una tendencia problemática y las 133 restantes.

También se generó la vista agrupada de las interrelaciones entre las diversas dimensiones (ver figura 3 b), en la cual es posible apreciar la tendencia general de las dimensiones a interactuar con unas más que con otras, lo cual puede depender también de la subjetividad inevitable que acompaña al proceso de definición de tendencias problemáticas por dimensiones, por parte de expertos de diversas áreas. Por supuesto, con la herramienta no será posible develar aspectos relevantes de los patrones y estructuras de esa red o entender sus centralidades, así como intermediaciones y conexiones, pero facilitará la observación visual de aspectos tanto generales (la red y subredes) como particulares (por nodos o conjuntos de nodos).

Adicionalmente, se emplearon las redes gráficas de vecindarios o redes ego, las cuales permiten entender la manera en la cual se ramifican las conexiones locales de los casos individuales. En la figura 4 se presenta la red ego para la tendencia problemática expansión de la frontera agropecuaria (OCP3) y para cambios en la humedad y compactación del suelo (S1 y S2). Encerrados en círculos rojos aparecen los casos individuales que están siendo analizados. Mientras que la expansión de la frontera agropecuaria presenta una cantidad alta de relaciones directas dentro de su propia dimensión y con otras dimensiones, la humedad y compactación del suelo se relacionan directamente con menos tendencias problemáticas.

De la red logra establecerse visualmente si existen tendencias problemáticas donde convergen una alta variedad de causalidades y a partir de las cuales se desencadenan numerosos efectos; de allí que dichas tendencias problemáticas pueden llegar a ser centrales en el análisis, debido a su alto involucramiento con la dinámica de transformación. Otras, podrían presentar menos relaciones directas, pero no por ello dejan de desempeñar un papel preponderante, pues hacen parte de la problemática. Esta diferencia cobra relevancia dentro de la toma de decisiones, donde las subredes de problemáticas podrían mitigarse a partir de casos claves, al interrumpir una tendencia central problemática (como OCP3).

Si bien el análisis visual a través de grafos es de gran utilidad, queda claro que este es más funcional y proporcionará más

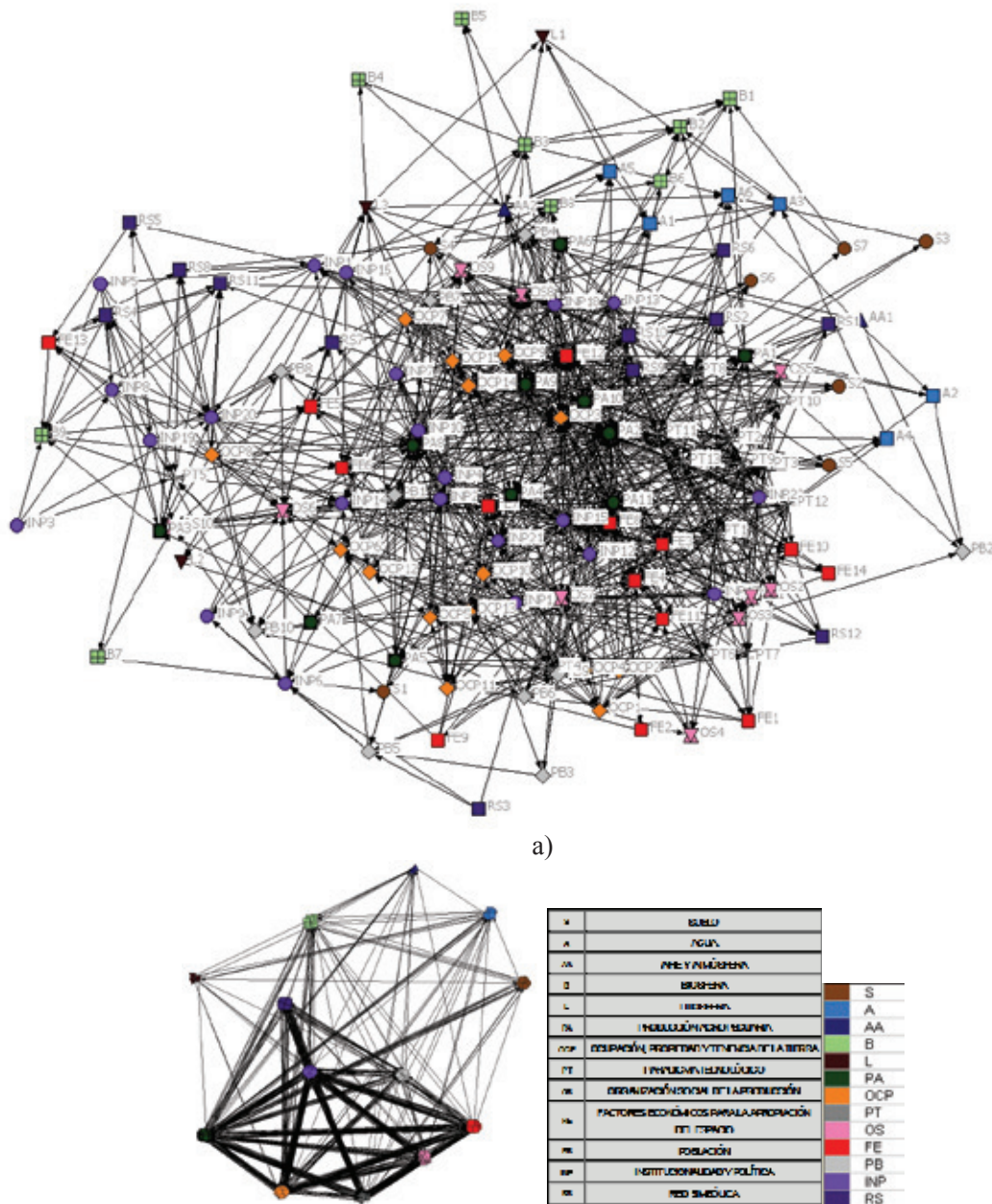
<sup>2</sup> NetDraw es un programa libre desarrollado por Steve Borgatti para la visualización de datos de redes sociales. (<http://www.analytictech.com/Netdraw/netdraw.htm>, consultado en enero de 2013).

claridad en la comprensión de la estructura de la red y el orden de las relaciones, en la medida en que se extraigan aspectos concretos y particulares, con base en diversos criterios de análisis. Es por esta razón que las herramientas de visualización fueron empleadas nuevamente al final de este ejercicio, para representar en forma más comprensible los aspectos claves o centrales obtenidos a partir de ese análisis.

### Enfoque numérico de análisis de la red de transformación ambiental

El procesamiento de la matriz de datos usada, se condujo explorando diversas operaciones, cuya base fue consultada y extraída, en su mayoría, de Hanneman y Riddle (2005), que conducen el análisis para redes sociales; pero su apli-

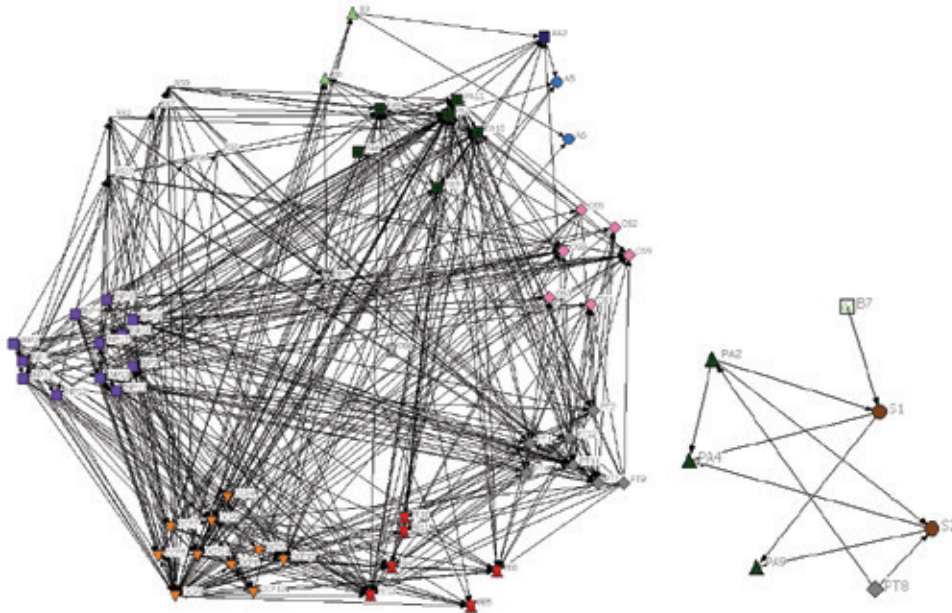
**Figura 3.** a) Red global de interrelaciones causa-efecto entre tendencias problemáticas de diversas dimensiones de análisis.  
b) Red agrupada por interacciones entre las dimensiones de análisis



Fuente: Autores



**Figura 4.** a) Redes ego o vecindarios para la expansión de la frontera agropecuaria-OCP3 y b) para los cambios en la humedad y compactación del suelo - S1 y S2



**Fuente:** Autores

cación al abordaje de problemáticas complejas que surgen de la interacción sociedad-naturaleza, en el escenario de la transformación ambiental, es un aporte al conocimiento del presente trabajo de investigación.

### Conexiones entre tendencias problemáticas

Los procedimientos de conectividad que se abarcan en este aparte comprenden un sumario de la distribución de relaciones existentes en la red de tendencias problemáticas. Los indicadores mostrados a continuación se basan en la definición de *degree* dada por Diestel (2005, p. 5) y la medición *Actor degree* propuesta por Hanneman y Riddle (2005, p. 96). En el ejercicio desarrollado fueron aplicadas estas técnicas, ajustadas al contexto actual de problemática ambiental.

Los Índices causa–efecto (Hanneman y Riddle, 2005) establecen para redes asimétricas (dirigidas) los indicadores *out-degree* e *in-degree*; el primero toma en cuenta únicamente los arcos que salen de un nodo, mientras que el segundo los que entran. En el presente ejercicio, a través de estas estadísticas, pudo observarse el papel de cada tendencia problemática como causante y como efecto de otras. La proporción de las relaciones “causa” de una tendencia pro-

blemática hacia otras se denominó el grado de causalidad, de la misma manera que la proporción de las relaciones “efecto” provenientes de las tendencias origen se denominó el grado de consecuencialidad. Cada una se calcula con base en la división del número de relaciones de causalidad (o consecuencialidad) de una tendencia problemática, sobre el número total de tendencias. Aquellas tendencias que presentan las más altas proporciones son desencadenantes centrales (las que más desencadenan a otras problemáticas o las que más son desencadenadas por otras).

El índice de causalidad-consecuencialidad se obtuvo a través de un índice normalizado que considera el número máximo de causalidades y consecuencialidades de los casos (tendencias problemáticas). La normalización proporciona valores entre cero y uno, donde los valores que tienden a uno indican un grado mayor de causalidad-consecuencialidad. En este caso las tendencias problemáticas que presentan las más altas proporciones son desencadenantes centrales de problemáticas.

*Densidad.* Este indicador se fundamenta en la definición de densidad de una red basada en los arcos que la conforman (Diestel, 2005, p.164), solo que para la investigación se modificó teniendo en cuenta que la red era asimétrica



(dirigida) y por lo tanto el número total de posibles arcos es el doble, obteniendo la siguiente expresión base. De esta forma, la densidad de la red binaria de problemáticas complejas es simplemente la proporción de todas las relaciones causa-efecto. Para la red de la investigación, la densidad se definió como la suma de las relaciones causa-efecto existentes, dividida entre el número posible de combinaciones de dos casos. La densidad de la red estaría proporcionando información sobre las características de desencadenamiento de los problemas complejos.

Cuando la densidad tiende a uno significa que cualquiera de los casos involucrados podría estar desencadenando todos los demás, debido a la existencia significativa de relaciones, en comparación con las combinaciones totales posibles. Esto supondría también un desencadenamiento más dinámico de la problemática analizada (desencadenamiento que está constituido por una maraña más compleja de relaciones causa-efecto). Por ejemplo, en el presente caso, la densidad de la red es igual a 0.0575 y posee un número de relaciones existentes de 1.025. Esto significa que, de las combinaciones posibles, se está dando actualmente casi un 6% de relaciones, lo cual señala una “baja cohesión de la red” o un desencadenamiento no tan activo de la problemática por parte de un caso dado. Sin embargo, es relevante acotar que así la estructura interna de la red muestre una “cohesión baja” (con base en el número de relaciones existentes), las ya presentes podrían estar generando graves consecuencias, según su carácter devastador; y que así el desencadenamiento de problemáticas no sea tan dinámico como su posible alcance lo muestra, puede haber bastado para impactar altamente la funcionalidad físico-biótica y las dinámicas socioculturales e institucionales del territorio.

*Accesibilidad.* La accesibilidad se establece tal como la presentan Hanneman y Riddle (2005, p. 100), de forma que una tendencia problemática es “accesible” por otra si existe un conjunto de conexiones que se pueden seguir desde la tendencia causa hasta la afectada, sin importar cuántas otras se encuentran entre ellas. Si alguna tendencia en la red no puede alcanzar a otras, existe la posibilidad de una división dentro de esta, o podría indicar que dicha red se encuentra integrada por más de una subred. Si se dispara una tendencia problemática es obvio pensar que esta va a afectar a las otras a las cuales tiene acceso. Esto parece muy simple, pero es de gran valor en una red compleja, donde delimitar los casos relacionados, con base en criterios de accesibilidad, permitirá enfocar mejor las acciones. El índice

de capacidad de accesibilidad comprende la suma de los accesos de las tendencias problemáticas a otras, dividido en el total de accesos posibles que cada uno de ellas puede llegar a tener. El índice de capacidad de consentimiento muestra la capacidad de cada tendencia a ser accedida por otra(s) y cuya estimación es similar a la anterior, solo que se enfoca en la capacidad de consentir accesos.

En el presente ejercicio el índice de capacidad de accesibilidad resultó alto para 121 tendencias problemáticas (de 134 en total), lo cual significa que una tendencia problemática dada podría ser desencadenada por una variada fuente de otras tendencias y la problemática compleja podría originarse a través de cualquiera de ellas, en forma directa o indirecta. Esto imprime características de afectación significativa, pues las causas y efectos presentan una alta asequibilidad entre ellos. Para las tendencias problemáticas que son más afectables (mayor valor del índice de capacidad de consentimiento), la interpretación es que va a ser difícil abordarlas desde sus causas, pues pueden ser desencadenadas por diversos casos (incluso de manera indirecta). Aquellas que presentan valores de índices bajos son tendencias problemáticas que no están desencadenando grandes transformaciones y son desencadenadas por pocos o ningún caso.

*Conectividad.* La adyacencia observada en la matriz inicial de la tabla 2 nos señala la conexión directa de un caso a otro, pero si existen muchos caminos diferentes para que dos casos se conecten, entonces se habla de una alta “conectividad” entre ellos (Hanneman y Riddle, 2005, p. 101), en el sentido de que existen múltiples formas como la afectación de uno al otro ocurra, pero dicha conectividad podría ser frágil o fuerte, en el sentido que ella puede ser interrumpida fácil o difícilmente.

La magnitud de la conectividad (su fragilidad o fuerza) se calcula por cada par de casos, como el número de otros casos que tendría que ser removido de la subred de caminos entre los dos, con el fin de que el uno ya no sea capaz de afectar al otro. Si un caso presenta una magnitud de conectividad alta (fuerte), significa que habría que remover a demasiadas tendencias problemáticas, para que cese su afectación. Por el contrario, si presenta una magnitud de conectividad baja (frágil), querría decir que sería suficiente con remover pocos casos o uno de ellos, para que cese la afectación; entonces las acciones de manejo tendrían un carácter menos complejo y sería más fácil enfocarlas hacia ciertos tópicos. Estos casos para la red abordada son nu-

merosos y pueden observarse en la tabla 3 de síntesis de frecuencias de conectividad.

**Tabla 3.** Síntesis de frecuencias de conectividad en la matriz causa-efecto de tendencias problemáticas

Magnitud de conectividad	Frecuencia de conectividad
0	2.087
1	5.034
2	3.074
3	2.329
4	1.502
5	1.245
6	1.038
7	332
8	340
9	261
10	193
11	189
12	69
13	43
14	71
15	42
16	27
17	17
18	14
19	9
20	11
21	8
22	8
23	5
24	1
25	3
26	1
27	1
28	0
29	0
30	0
31	1
32	1

Fuente: Autores

### Cohesión de tendencias problemáticas

De acuerdo con Brandes y Erlebach (2005) y dado que el análisis de red se enfoca principalmente en la teoría y los métodos de la estructura de la red de tendencias, los indicadores de centralidad se pueden abordar por niveles de análisis. En el presente caso se abordará el nivel de ele-

mentos (nodo y arco de la red), es decir, cada uno de los síntomas o tendencias y cada una de las relaciones, mediante la aplicación de funciones que toman un elemento y con base en alguna característica estructural dentro de la red le asignan un valor determinado.

*Distancias.* La distancia entre dos nodos es proporcionada por el número de arcos que hay entre ellos a lo largo de un camino que los une (Hanneman y Riddle, 2005, p. 102). Este concepto es llamado longitud de camino en Brandes y Erlebach (2005, p. 9) y Diestel (2005, p. 6). Entre dos nodos puede existir más de un camino. Entre más corto sea el camino entre dos síntomas o tendencias, más directo será su vínculo. De igual forma, entre más caminos posibles vinculen a dos tendencias, más indirecta será su relación causa-efecto (más difícil de interrumpir).

El concepto de distancia de Diestel (2005, p. 8) o de distancia geodésica de Hanneman y Riddle (2005, p. 107) se refiere al número más pequeño de relaciones causa-efecto que es necesario recorrer para acceder desde un caso a otro. El promedio de distancias geodésicas refleja, en general, lo directo del vínculo de un caso dado con respecto a los demás; lo que significa, su relación más o menos directa con el resto de casos de la red. Los promedios más altos señalan más vínculos del caso con los demás, por lo tanto, relaciones causa-efecto con mayor cantidad de intermediarios. Lo anterior también indica que su alcance causa-efecto es más extenso. Para la red analizada, existen altas accesibilidades, como se mencionó arriba; pero esto contrasta con su situación en el análisis de causalidad, el cual ubica a los casos con promedios más altos de distancia geodésica con poca causalidad directa y baja consecuencialidad directa. Esto señala la importancia del presente análisis, el cual deja implícito que existen tendencias que, de forma indirecta, están desencadenando una problemática importante.

En el contexto de la toma de decisiones, será crítico abordar aquellas tendencias problemáticas con mayores distancias geodésicas, pues se estaría interrumpiendo también el desencadenamiento de aquellas relaciones causa-efecto indirectas entre un par de tendencias dadas y esto abarcaría la actuación sobre una red más extensa de relaciones que, a simple vista o desde la sola matriz, es imposible detectar. Los casos de distancia geodésica de cero deberán entenderse como aquellos que no presentan relaciones causa-efecto entre las respectivas tendencias.

El número de distancias geodésicas entre pares de casos (Hanneman y Riddle, 2005, p. 111) es otra característica

importante de una estructura de red. Si existen muchos caminos más cortos conectando dos tendencias, la relación causa-efecto entre ellos encuentra un conjunto variado de maneras de desencadenarse (ver tabla 4); sin embargo, es importante considerar en conjunto esta situación con otros parámetros como el de conectividad. En el ejemplo presentado en la tabla, las tendencias problemáticas muestran una redundancia de conexión; para ellas se encontraron 80 caminos geodésicos (80 relaciones diferentes causa-efecto más cortas entre ellas); sin embargo, su conectividad es de 1, lo cual indicaría que con solo anular la actividad de un caso intermediario entre ellas (para este caso, PB5 - baja participación de la población en la toma de decisiones), se estaría interrumpiendo la relación causa-efecto de todos los caminos geodésicos existentes entre las dos. Esto es, sin duda alguna, un aspecto clave para la toma de decisiones.

### Intermediación como medida de centralidad

Hay tendencias problemáticas que por su posición estructural dentro de la red favorecen más el desencadenamiento de otras. Ellas tienen una mayor influencia sobre las demás o bien son un foco de afectaciones desde diversas fuentes de causas. De allí que se hace necesario analizarlas. La intermediación determina si una tendencia problemática es central, debido a que hace parte de los caminos geodésicos entre otros pares de casos en la red (Brandes y Erlebach, 2005, p. 28). Es decir, cuantas más tendencias dependan de ella para establecer relaciones causa-efecto, más central será.

Freeman (1979, p. 223) propone dos cálculos. El primero aplica a los nodos y consiste en localizar los caminos geodésicos entre todos los pares de tendencias problemáticas y para cada tendencia contar de cuántos de esos caminos hace parte; la medida de intermediación se obtendría sumando, para cada una de ellas, la proporción de veces que se encuentran en algún camino geodésico entre otros dos casos. Esta medición es normalizada, expresándose como porcentaje de la intermediación máxima posible que una tendencia podría haber tenido. El hecho de que la intermediación de una tendencia sea la más alta significa que, en general en esa red, es de la que más dependen las demás tendencias para formar vínculos causa-efecto. En otras palabras, una interrupción del desencadenamiento de la problemática compleja se lograría más positivamente neutralizando esta tendencia.

**Tabla 4.** Caminos geodésicos posibles entre dos tendencias problemáticas (RS9 y RS12).

No.	Caminos geodésicos
1	RS9 -> PA2 -> FE3 -> PB9 -> PB5 -> INP2 -> INP13 -> RS12
2	RS9 -> PA2 -> FE3 -> PB9 -> PB5 -> INP2 -> INP15 -> RS12
3	RS9 -> PA2 -> FE3 -> PB9 -> PB5 -> INP4 -> INP13 -> RS12
4	RS9 -> PA2 -> FE3 -> PB9 -> PB5 -> INP4 -> INP15 -> RS12
5	RS9 -> PA2 -> FE14 -> PB9 -> PB5 -> INP2 -> INP13 -> RS12
6	RS9 -> PA2 -> FE14 -> PB9 -> PB5 -> INP2 -> INP15 -> RS12
7	RS9 -> PA2 -> FE14 -> PB9 -> PB5 -> INP4 -> INP13 -> RS12
67	RS9 -> FE12 -> FE3 -> PB9 -> PB5 -> INP4 -> INP13 -> RS12
68	RS9 -> FE12 -> FE3 -> PB9 -> PB5 -> INP4 -> INP15 -> RS12
69	RS9 -> INP21 -> OS7 -> PB3 -> PB5 -> INP2 -> INP13 -> RS12
70	RS9 -> INP21 -> OS7 -> PB3 -> PB5 -> INP2 -> INP15 -> RS12
71	RS9 -> INP21 -> OS7 -> PB3 -> PB5 -> INP4 -> INP13 -> RS12
72	RS9 -> INP21 -> OS7 -> PB3 -> PB5 -> INP4 -> INP15 -> RS12
73	RS9 -> INP21 -> OS7 -> PB9 -> PB5 -> INP2 -> INP13 -> RS12
74	RS9 -> INP21 -> OS7 -> PB9 -> PB5 -> INP2 -> INP15 -> RS12
75	RS9 -> INP21 -> OS7 -> PB9 -> PB5 -> INP4 -> INP13 -> RS12
76	RS9 -> INP21 -> OS7 -> PB9 -> PB5 -> INP4 -> INP15 -> RS12
77	RS9 -> INP21 -> FE7 -> PB9 -> PB5 -> INP2 -> INP13 -> RS12
78	RS9 -> INP21 -> FE7 -> PB9 -> PB5 -> INP2 -> INP15 -> RS12
79	RS9 -> INP21 -> FE7 -> PB9 -> PB5 -> INP4 -> INP13 -> RS12
80	RS9 -> INP21 -> FE7 -> PB9 -> PB5 -> INP4 -> INP15 -> RS12

**Fuente:** Autores

El segundo cálculo propuesto por Freeman aplica a las relaciones y considera la centralidad de las relaciones causa-efecto entre tendencias. La medición se realizaría sumando las veces que una relación dada se encuentra en medio del camino geodésico entre otros dos casos. En otras palabras, proporciona la medición del grado en que cada relación se encuentra en medio de algún camino entre tendencias en un grafo binario. Como en el caso anterior, el cálculo también corresponde a la sumatoria de las proporciones de participación que cada relación tiene en el total de los caminos geodésicos existentes entre cada par de otras tendencias.

En el contexto de toda la red, las relaciones más centrales están desempeñando un papel relevante, debido a que son aquellas de las que más dependen las demás para desencadenar efectos. Estas relaciones se consideran “claves”, dentro de la toma de decisiones, pues permiten, de manera más favorable, interrumpir la dinámica de los problemas.

En el siguiente numeral se presentan las tendencias de transformación ambiental, que por uno u otro criterio de medición, resultaron focos principales para las acciones

que tendrán que adoptarse en relación con la problemática ambiental existente.

### Resultados

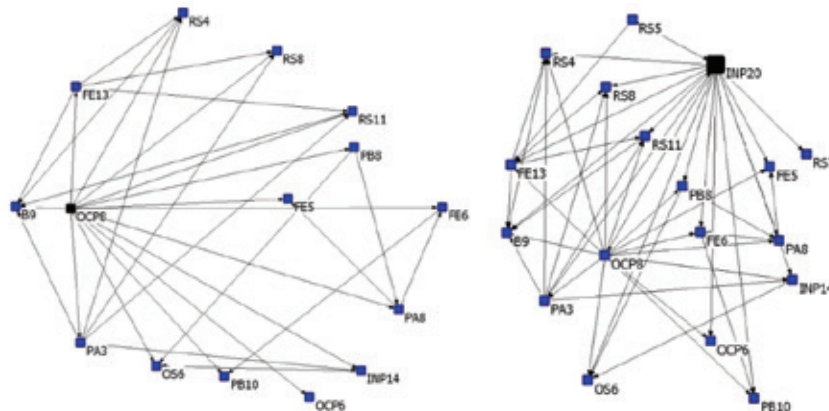
Del análisis efectuado, es posible presentar el problema de la transformación ambiental desde dos enfoques. El primero tiene que ver con aquellos síntomas centrales, por ser los desencadenantes principales, por uno u otro criterio, de las relaciones causa-efecto dentro de la red, o aquellos sobre los que recaen los efectos que son ocasionados por otros. La centralidad de esos síntomas se determinó con ayuda de criterios como los presentados en la tabla 5. El segundo enfoque compete al manejo y acciones que deberían adoptarse frente a la situación de desarrollo no sostenible de las interacciones sociedad-naturaleza. La síntesis resultante ofreció una guía de cuáles interrelaciones causa-efecto del sistema sociedad-naturaleza deberían ser abordadas con base en los criterios mostrados en la tabla 6.

**Tabla 5.** Criterios para determinar la centralidad de tendencias problemáticas.

Criterios que las hace centrales
1. Alto grado de causalidad (causante de muchas otras tendencias).
2. Alto grado de consecuencialidad (se desencadena por efecto de muchas tendencias foco).
3. Alto grado de causalidad-consecuencialidad (es causante y al mismo tiempo desencadenada).
4. Mayor promedio de distancia geodésica (más vínculos de la tendencia con las demás, por lo tanto, relaciones causa-efecto más extensas, desde ella hacia las otras).
5. Alta intermediación (las otras tendencias dependen de ella para establecer vínculos causa-efecto).

Fuente: Autores

**Figura 5.** Vecindarios o redes ego de los casos OCP8 e INP20 con una alta causalidad.



Fuente: Autores

**Tabla 6.** Criterios para determinar interrelaciones centrales de la red de transformación ambiental.

Criterio que hace centrales a las relaciones
1. Alta conectividad (representaría un gran esfuerzo anular la relación causa-efecto de una tendencia sobre la otra).
2. Alta redundancia de conexión (la relación causa-efecto entre esas tendencias encuentra un conjunto variado de maneras de desencadenarse). Se analizaría frente a las relaciones que presentan baja conectividad (es fácil anular la relación a pesar de la alta redundancia de conexión).
3. Relaciones de alta intermediación (las otras dependen de ellas para desencadenar tendencias problemáticas).

Fuente: Autores

Algunos resultados concretos, aplicando los criterios descritos, se presentan a continuación.

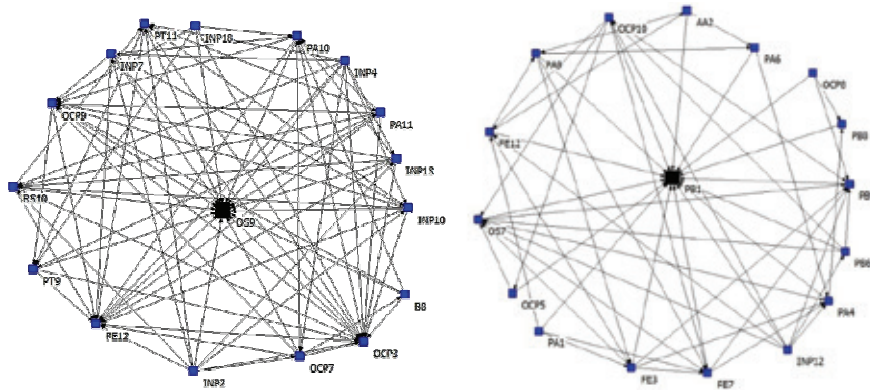
– El alto grado de derivación de tendencias problemáticas a consecuencia de otras se puede observar en el ejemplo de la figura 6. Allí se visualizan además aquellas tendencias fuentes de la respectiva problemática. Las flechas que representan las relaciones van desde las tendencias causantes hacia la tendencia derivada como efecto.

Las tendencias de este grupo son complejas en su origen; por lo tanto, su abordaje sería central al ser puntos de convergencia de desencadenadores diferentes de cambio, lo cual llevaría a adoptar soluciones integrales, transversales a distintos órdenes naturales y sociales. Pueden ser manejadas con la certeza de que se invalida el efecto amplio que las desencadena.

– En la figura 7 se presentan los vecindarios para dos tendencias con alta causalidad-consecuencialidad. Estas son

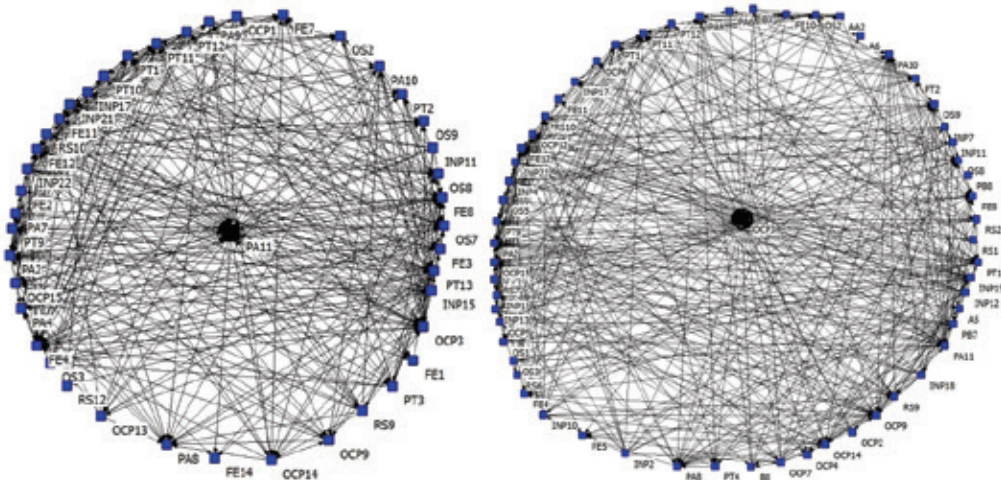


**Figura 6.** Vecindarios o redes ego de las tendencias OS9 y PB1 con alto grado de derivación.



Fuente: Autores

**Figura 7.** Vecindarios o redes ego de las tendencias PA11 y OCP3 con alta causalidad-consecuencialidad de la problemática compleja.



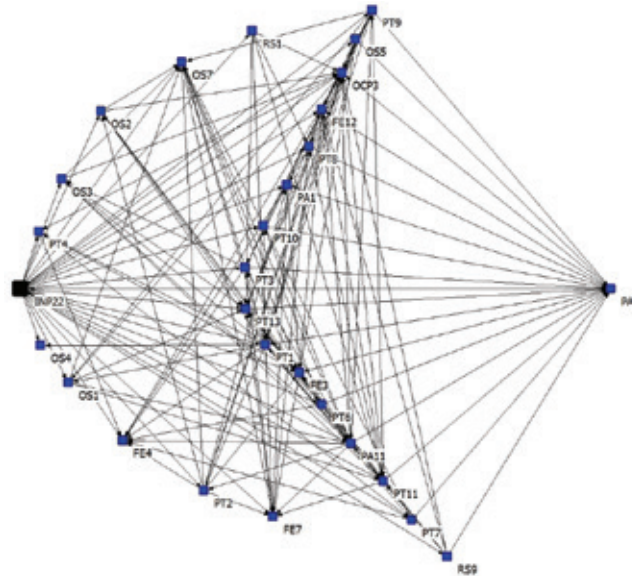
Fuente: Autores

también relevantes para el abordaje de la problemática, pues desempeñan un doble papel dentro de la estructura de la red; al anularlas, se podrían detener extensas interrelaciones desencadenantes de problemáticas complejas. Por supuesto, para ellas los grafos de redes poseen una alta densidad de interrelaciones, las cuales se señalan con líneas que pueden tener la cabeza hacia la tendencia central o desde esta última, dependiendo del sentido de la relación.

– En lo concerniente a la distancia geodésica, en el contexto de la toma de decisiones será crítico abordar aquellas tendencias con mayores distancias geodésicas, pues también se estaría interrumpiendo el desencadenamiento de relaciones causa-efecto indirectas entre un par de casos o tendencias dadas y esto abarcaría la actuación sobre una red más amplia de relaciones.

– Por otro lado, conocer las tendencias con alta intermediación es de invaluable aporte debido a que los casos que la poseen pasan a ser centrales, pues los demás van a depender de él para vincularse con el resto de casos de la red. Esto significa que una interrupción de la red causa-efecto de problemáticas complejas podría ocurrir al neutralizar estas tendencias. Por otra parte, su abordaje permitiría visualizar la convergencia de vínculos causa-efecto para descifrar la problemática a través de casos “medulares”. Las redes causa-efecto que se construyen tendrían como sustanciales a esas tendencias.

En síntesis, las tendencias problemáticas que cumplen con más de un criterio de los establecidos, en orden de importancia, son: expansión de la frontera agropecuaria (OCP3), intensificación de la actividad agropecuaria (PA2), cambios

**Figura 8.** Red de conectividad entre los síntomas INP22 y PA2.

Fuente: Autores

del sistema de producción agropecuaria a producción escalonada por nuevas lógicas espacio-culturales (PA11), afectación de la producción agropecuaria por cambios en las condiciones climáticas, edafológicas e hídricas (PA9) y aumento en los rendimientos de cultivos y ganadería por parte de grandes propietarios (FE4). Ellas y sus interrelaciones causa-efecto de tendencias problemáticas tendrían que ser el foco de planes de manejo y acciones que conduzcan al abordaje pertinente, adecuado y, desde sus raíces, de la problemática ambiental del área de interés.

### Para las relaciones problemáticas

El objetivo se centró en extraer de una red compleja de interrelaciones, aquellas relaciones que son centrales para el abordaje de la problemática ambiental y su manejo sustentable.

– En relación con la conectividad entre tendencias problemáticas se vuelven prioritarios los pares de ellas con conectividad fuerte, lo cual significa que su relación causa-efecto se da por incidencia de muchas otras intermediarias. Estas son las relaciones que para el manejo son más complejas, pues tendrían que abarcarse diversas dimensiones de lo ambiental en forma holística; las soluciones deberían ser integrales, al considerar diversas formas de causalidad-efecto, de una tendencia sobre otra, a través de una diversidad de

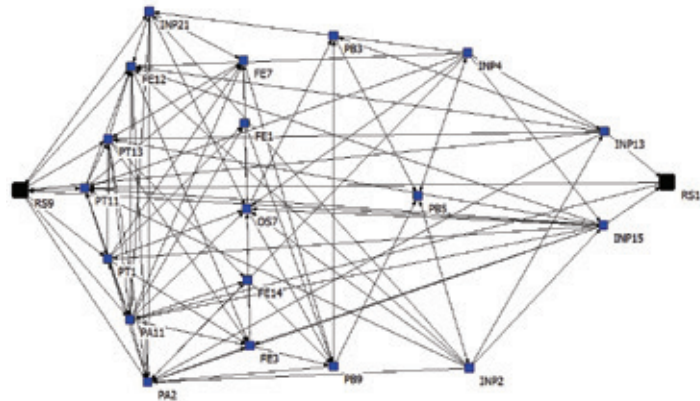
casos intermedios. Sucede lo contrario con las acciones a ser implementadas cuando la conectividad es débil, pues serían pocos los casos a interrumpir para anular una relación causa-efecto. En la figura 8 se aprecia la red gráfica para la relación INP22-PA2<sup>3</sup>, la cual se caracteriza por una magnitud alta de conectividad.

– Para el número de distancias geodésicas se analizó la alta redundancia de conexión, la cual consiste en que existen muchos caminos más cortos conectando dos síntomas o tendencias, por lo tanto, la relación causa-efecto entre ellos se caracteriza por diferentes formas de materializarse. En la figura 9 se presenta la red de alta redundancia de conexión entre los síntomas RS9 y RS12<sup>4</sup>. A pesar de las numerosas distancias geodésicas (rutas) entre las dos tendencias (80 en total) su conectividad, por ser baja, depende solamente de PB5. Removiendo este único nodo se interrumpe la relación entre las dos tendencias. Esto último es relevante para las acciones de manejo, que deberían ser orientadas hacia síntomas claves como PB5.

<sup>3</sup> INP22: Intereses institucionales en la tecnificación de la actividad agropecuaria, y PA2: intensificación de la actividad agropecuaria

<sup>4</sup> RS9: Cambio de percepción de la relación ser humano – páramo, RS12: Pérdida de identidad territorial de las comunidades y PB5: Baja participación de la población en la toma de decisiones.

**Figura 9.** Alta redundancia de conexiones entre síntomas RS9 y RS12.



Fuente: Autores

– El desencadenamiento de problemáticas depende, en gran manera, de la existencia de las relaciones de intermediación. Estas relaciones se consideran focales, pues son mediadoras para que se desencadenen muchas otras relaciones que conforman la red compleja. Para el presente ejercicio se encontraron las siguientes relaciones de intermediación claves para la toma de decisiones: PB9-PB5, PB5-INP4, PB5- INP2<sup>5</sup>.

### Discusión de resultados

Un aspecto definitivo para el éxito del análisis de la dinámica de la transformación ambiental con base en redes complejas es el planteamiento de las redes causa–efecto entre tendencias problemáticas de manera que sea un reflejo de lo que sucede en la realidad. A este aspecto, como parte de la investigación, se le dio alcance mediante la realización de una fase metodológica en la que se abarcó la corroboración de las relaciones y tendencias centrales de la red compleja de interacciones. Algunas relaciones y tendencias pudieron ser corroboradas con ayuda de información primaria, secundaria y mediante el trabajo en campo con las comunidades locales. Las demás se dejaron planteadas, como hipótesis susceptibles a ser corroboradas en investigaciones posteriores. En esta instancia se llevó a cabo la profundización e interpretación de los patrones de interrelaciones planteados en forma descriptiva y gráfica, en la etapa anterior. Este proceso necesario y que le dio

mayor rigurosidad a la presente investigación, es objeto de otro artículo, debido a su extensión.

### Conclusiones

Algunas conclusiones generales de esta construcción metodológica son:

El ambiente y su transformación son complejos; esa complejidad deberá dibujarse y comprenderse por medio de interrelaciones de diversos síntomas o tendencias que caracterizan el cambio de los componentes sociocultural y ecosistémicos, los cuales se conjugan en forma de redes causa-efecto y son enmarcados por las dimensiones y órdenes ambientales.

La construcción metodológica que se llevó a cabo en el presente trabajo muestra la necesidad de una interdisciplina que alimente el desarrollo de este tipo de estudios; así como de una interacción efectiva con las comunidades locales, que acerque la academia a su simbología, planes de vida, percepciones y conocimiento profundo de su medio; y de la adopción de métodos y técnicas acertados que permitan conducir exploraciones de los procesos y dinámicas de cambio que faciliten el acercamiento a la lectura de procesos complejos, espaciales e integradores de tan diversas dimensiones y órdenes ambientales interactuantes.

La formalización del modelo de interpretación de la transformación ambiental del páramo de Guerrero, efectuada a partir del análisis de redes, fue fundamental para organizar, estructurar y extraer los aspectos centrales de las interrela-

<sup>5</sup> PB9: Marginalidad económica; INP4: Desencuentros de las instituciones públicas en torno a las actividades agropecuarias; INP2: Desencuentros del marco normativo (territorial, agropecuario y ambiental) para actividades agropecuarias.



ciones sociedad-naturaleza. La matriz de adyacencia que contiene las relaciones causa-efecto entre los síntomas o tendencias de la transformación, por sí sola no hace evidente los aspectos de patrones estructurales de conjunto de la red, ni el grado de inclusión de los síntomas dentro de esta; tampoco permite discernir categorías con características similares. De allí la relevancia del ejercicio efectuado, el cual hace funcional y manejable una red tan intrincada.

El presente ejercicio es estratégico para comprender cómo sucedió la dinámica de transformación, cómo está evolucionando y cuáles serían los aspectos álgidos de abordaje para interrumpir el desencadenamiento acelerado de efectos sobre los grupos sociales y sus actividades de subsistencia, así como sobre los ecosistemas naturales y seminaturales, junto con los bienes y servicios que estos prestan a la sociedad.

En relación con el análisis de transformación realizado se puede concluir que son muy diversos los aspectos que se conjugan en la transformación y apropiación del territorio. Esa transformación, por su dinámica, es necesario caracterizarla e interpretarla desde múltiples dimensiones ambientales. De allí que sean indispensables análisis integrales, inter y transdisciplinarios como el que se llevó a cabo.

La construcción metodológica actual constituye un aporte al conocimiento de la interpretación y el análisis de la transformación ambiental, bajo la perspectiva de la interacción sociedad-naturaleza, y su empleo podrá ser extendido al entendimiento de dinámicas espaciales de apropiación del territorio en otras áreas.

El conocimiento enmarcado en una cosmovisión, de la que surgen las epistemologías (con ciertas racionalidades, normas y valores, entre otros), que constituyen el fundamento de las diversas teorías, hacia el abordaje de lo ambiental, no se convierte en “saber” hasta no haber dado solución a problemas específicos, o sea, el “hacer”. Este último es el que se pretendió alcanzar con los instrumentos metodológicos desarrollados, los cuales constituyen en caminos y medios para el abordaje de los problemas ambientales y sus soluciones.

La construcción metodológica lograda se ajusta, en forma general, al método científico, lo cual le da gran validez y la consolida para futuras aplicaciones.

## Referencias

- Alzate, B. E. (2008). *Diagnóstico de la sostenibilidad ambiental*. IDEA. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Alzate, B. E. (2011). *Informe técnico proyecto de investigación “Caracterización de los procesos de apropiación y transformación del espacio geográfico con destino a la producción agropecuaria y diseño de la valoración económica parcial ambiental en el páramo de Guerrero (segunda fase)”*.
- Ángel, A. (1996). *El reto de la vida. Ecosistema y cultura. Una introducción al estudio del medio ambiente*. Bogotá, Colombia: Ecofondo.
- Borgatti, S. P.; Everett, M. G. y Freeman, L. C. (2002). *Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis*. Harvard, RU: Analytic Technologies.
- Bourdon, R. D. (2009). *Formalización del modelo de interpretación ambiental de Augusto Ángel Maya en representación de redes*. (Tesis de maestría), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Brandes, U. and Erlebach, T. (Eds.) (2005). *Network Analysis Methodological Foundations. Lecture Notes in Computer Science*. Springer.
- Diestel, R. (2005). *Graph theory. Graduate texts in mathematics, 173*.
- Palacio, D.; Hurtado, R.; Garavito, L. (junio-julio de 2003). Redes socio-ambientales en tensión: el caso de la gestión ambiental de los humedales de Bogotá. *REDES - Revista hispana para el análisis de redes sociales*, 4(6). Disponible en: <http://revista-redes.rediris.es>
- Freeman, L. C. (1979). Centrality in Social Networks: Conceptual clarification *Social Networks* 1, 215-239.
- Hanneman, R. A. y Riddle, M. (2005). *Introduction to social network methods*. Riverside, CA: University of California (published in digital form at <http://faculty.ucr.edu/~hanneman/nettext/>)
- Molano, B. J. (2005). *Análisis sociocultural y geopolítico de los páramos. Quinta Conferencia Nacional de Páramos*. Inzá, Cauca, Colombia.
- WBGU (1997). *World in Transition: The Research Challenge. Annual Report of the German Advisory Council on Global Change (WBGU)*. Berlín, Alemania: Springer.
- Worboys, M. y Dukham, M. (2005). *GIS: a computing perspective*. CRC Press.

