

La innovación en procesos agrícolas como sistema complejo adaptativo.

Caso de estudio: Distrito de riego La Antigua en Aquitania, Boyacá*

Natalia Marcela Cortés González**

Resumen

Este proyecto busca explorar los procesos de innovación en la agricultura bajo las siguientes hipótesis: primera: dadas las propiedades de los procesos innovadores en la agricultura, un distrito de riego puede caracterizarse como un sistema complejo adaptativo (SCA); segunda: el proceso de implementación de un distrito de riego logra una mayor eficiencia en un sistema de producción agrícola, con lo cual aumenta la producción de alimentos, y mejora los ingresos y calidad de vida de los productores. Para probar estas hipótesis se trabajó con la metodología de estudio de caso en el distrito de riego La Antigua, en el municipio de Aquitania, en el departamento de Boyacá, Colombia. La adopción de esta metodología tiene como objetivo analizar las principales características de los procesos de innovación en agricultura, con el fin de compararlas con las de los sistemas complejos adaptativos (tales como interacción, aprendizaje, dependencia de las condiciones iniciales). Posteriormente, se identificaron los efectos económicos y sociales sobre la población durante el funcionamiento del distrito de riego.

Palabras clave: innovación, sistemas complejos adaptativos, distrito de riego.

Clasificación JEL: Q1, Q16, R0

Abstract

This project explores the innovation processes in agriculture under the following hypotheses: first, given the properties of innovation processes in agriculture, an irrigation district can be characterized as a complex adaptive system (CAS); second, the process of implementing an irrigation district can lead to higher efficiency in an agricultural production system, which

* Versión resumida y editada del trabajo de grado para optar al título de economista.

Agradecimientos especiales a la profesora Catalina Blanco, por su asesoría para la realización de este artículo.

** Egresada del programa de Economía de la Universidad Central. Correo electrónico: ncortesg@hotmail.com

increases food production and also increases income and life quality for producers. In order to test these hypotheses we work with a case study in the irrigation district of La Antigua, in the town of Aquitania in Boyaca, Colombia. This methodology was chosen so as to analyze the main characteristics of innovation processes in agriculture, in order to compare them to those of the CAS (such as interaction, learning, dependence on initial conditions). Also, the economic and social effects on the population were identified during the operation of the irrigation district.

Key words: innovation, Complex Adaptive Systems, Irrigation District.

JEL: Q1, Q16, R0

Introducción

La agricultura en Colombia es una de las actividades económicas que menor crecimiento han tenido en los últimos años (DANE, 2012). Una de las causas de este lento crecimiento es la falta de tecnificación agrícola, a la cual contribuye la ausencia de riego; de acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2011), en Colombia solo se riega el 14% de su área potencial, lo que genera baja productividad, menor oferta de alimentos e ingresos más bajos para los agricultores.

La tecnificación agrícola guarda relación directa con la innovación:

Un distrito de riego hace parte de un proceso de innovación, ya que implica la interacción de actores, políticas y planes diversos de acción, con los que se puede lograr una difusión de la tecnología y mejores prácticas agropecuarias, para aumentar la productividad y calidad de los productos finales. (Tomado de <http://www.corpoica.gov.co>)

La mayor parte de la población en estado de pobreza en los países en desarrollo se localiza en las zonas rurales (Banco Mundial, 2008). Para darle respuesta a esta problemática, en Colombia se han ido implementando programas y proyectos de desarrollo rural, dentro de los cuales se destacan los de riego, que

han beneficiado a pequeños propietarios, empresarios agrícolas y familias campesinas.

Hay evidencia de que los programas de tecnificación agrícola de mayor éxito cuentan en su implementación con dinámicas de interacción, aprendizaje, retroalimentación, dependencia de las condiciones iniciales, todas ellas características propias de los sistemas complejos adaptativos.

El presente trabajo tiene dos hipótesis centrales: la primera, que el distrito de riego La Antigua tiene características de SCA y que, por tanto, este proceso de innovación agrícola puede ser caracterizado como SCA. La segunda hipótesis del trabajo es que, para el caso de estudio, la innovación agrícola es determinante para mejorar las condiciones de vida de los agricultores.

Para el desarrollo del trabajo se elaboró una revisión teórica de los conceptos de innovación y de SCA, y se estudió la relación que guardan ambos en la exitosa implementación de un proceso de innovación. Se diseñó posteriormente una encuesta semiestructurada que buscaba evaluar si el distrito de riego cumplía con las características de los SCA, y además hallar los efectos socioeconómicos que ha provocado el distrito entre los habitantes de la vereda Hato Viejo. En seguida se realizó un trabajo de campo por medio del cual se aplicó la encuesta a los 50 usuarios del distrito de riego La Antigua. Por último, se construyó una *feedback machine* (Aström, 2002), para describir la implementación del distrito de riego La Antigua; finalmente se presentaron las conclusiones del estudio y algunas recomendaciones.

Aproximación teórica

Sistema Complejo Adaptativo e innovación

Un sistema¹ complejo se define a partir de sus principales características, dentro de las cuales se destacan: la interacción, la retroalimentación, la adaptabilidad, la

¹ Un sistema se define como un conjunto de agentes que interactúan logrando una actividad con el fin de alcanzar un objetivo común. (Teoría de los sistemas), www.virtual.unal.edu.co

presencia de fenómenos emergentes (es decir, aquellos que se presentan sin la necesidad de un *controlador*) (Smith y Stevens, 1994) y la dependencia de las condiciones iniciales (cuando un sistema depende de las condiciones iniciales, mínimos cambios causan grandes efectos; además, cualquier perturbación, aun pequeña, persiste para siempre) (Baranger, 2001).

Un sistema complejo es un sistema abierto en el cual existe una colección de objetos (agentes) que interactúan y causan la aparición de fenómenos emergentes, y generan paralelamente procesos de retroalimentación. Son sistemas adaptables, ya que con el paso del tiempo los agentes desarrollan la capacidad de enfrentarse a los cambios externos por medio de una autoorganización. La Tierra, los mercados bursátiles y las organizaciones² son otros ejemplos de SCA².

En los sistemas biológicos –como células, órganos, tejidos y redes biológicas– se pueden identificar las principales características de los sistemas complejos. En primer lugar se observa cómo los componentes de un sistema evolucionan de acuerdo con sus interacciones: los SCA son sistemas que responden a las perturbaciones y son capaces de adaptarse a los cambios de su entorno; estos sistemas dan respuesta a cada uno de esos cambios ya que cuentan con retroalimentación (Kitano, 2002).

Las características de los SCA han sido usadas para caracterizar y estudiar los procesos de *innovación y desarrollo* (Imatsu, Sugasawa y Sakurai, 2004; Russo y Rossi, 2009; Antonelli y Scellato, 2007). Para nuestro caso de estudio definiremos la innovación según el enfoque de Schumpeter (1935), que la define como el cambio en los métodos productivos y comerciales que se traduce en modificaciones en los métodos de producción, conquista de nuevos mercados o introducción de nuevas mercancías. Él establece tres categorías:

[Schumpeter] estableció la diferencia entre invención, innovación y difusión. Definió invención como aquel producto o proceso que ocurre en el ámbito científico-técnico y perdura en el mismo (ciencia pura o básica); a la innovación la relacionó con un

cambio de índole económica. Por último, consideró que la difusión, es decir la transmisión de la innovación, es la que permite que un invento se convierta en un fenómeno económico-social. (Medina Espinosa, 1994, citado en Formichella, 2005, p.11)

Como factor de crecimiento, la innovación tiene dos elementos que se relacionan directamente con las características de los SCA: en primer lugar, tiene una *proximidad relacional*, que se entiende como la cooperación entre agentes, la cual conducirá a un aprendizaje colectivo. En segundo lugar está la *proximidad institucional*, que facilitará la cooperación entre agentes y generará una socialización de conocimiento, la cual, finalmente, llevará a procesos interactivos de aprendizaje (Capello, 2006, p. 176).

Teniendo en cuenta el planteamiento de Capello acerca de la innovación, se encuentran estudios que analizan la relación entre innovación y sistemas complejos adaptativos. Como primera referencia tenemos a Imatsu, Sugasawa y Sakurai (2004), que contrastaron dos casos empresariales, en los que relacionaron las características de un SCA con los procesos productivos. Haciendo una analogía entre la innovación y la biología, estos autores definen un SCA como un sistema que contiene un número de agentes que buscan adaptarse a los cambios que ocurren externamente. Igualmente, hacen énfasis en el papel de la inversión en investigación y desarrollo, así como en la necesidad de innovación; con ellas se podrán lograr mejoras en los productos finales y una diversificación de los mismos. Es importante resaltar que, según estos autores, la interacción entre agentes hará que se tomen decisiones significativas que tendrán efectos al final del proceso.

Katz (2006) describe un caso práctico en el que demuestra que los sistemas de innovación, al igual que los sistemas complejos, están compuestos por un número de individuos u organizaciones que interactúan para lograr un fin común y que estas interacciones emergen desde sus comportamientos. Según el autor, al demostrar en una nación las correlaciones entre investigación

2 Véase; Johnson (2007), Axelrod (2000), Baranger (2001), Smith y Stevens (1994), Babarenda, Boyle y McDowall (s.f).

y políticas públicas, el aumento de los indicadores de innovación debe estar influenciado por la interacción (una de las características de los SCA) y la modificación del gasto en investigación y desarrollo (I+D).

Respecto a la *interacción*, esta es una de las características más importantes que posee un SCA para que un sistema evolucione. De ahí que los economistas italianos Antonelli y Scellato (2007) realicen un estudio acerca de la importancia de las interacciones sociales como impulsoras del crecimiento de la economía, en el que la dinámica está dada por el comportamiento de los agentes importantes del cambio tecnológico.

Antonelli y Scellato realizan su estudio en 7020 industrias italianas y en ellas analizan cómo la productividad total de los factores es afectada por las diferentes interacciones sociales derivadas de la difusión del conocimiento. Los autores concluyen que la productividad de las empresas se ve altamente influenciada por las interacciones sociales, que incentivan en las empresas el deseo de innovar y de llevar a cabo un nuevo proceso de difusión de conocimiento.

En los párrafos anteriores se puede notar que la posibilidad de identificación entre procesos de innovación y SCA es un tema de investigación con plena vigencia; de ahí que en nuestro caso específico del distrito de riego La Antigua se buscara hacer una aproximación a través de la caracterización de los principales componentes de estos sistemas. Se hizo énfasis entonces en el aprendizaje, la interacción y la retroalimentación, características estas que guardan directa relación, en nuestro caso, con cada una de las variables que influyen en el proceso de innovación agrícola³.

Aproximación metodológica

En toda la literatura revisada es evidente que la *retroalimentación –feedback–* constituye una de las características destacadas de los casos exitosos de innovación. La retroalimentación es aquella cualidad por la cual los agentes permiten que los eventos del pasado influyan en las decisiones que tomen ellos en el presente; es decir, los agentes del sistema actúan de acuerdo con su experiencia, en un proceso de autoorganización.

Aström (2002), Peitgen, Jürgens y Saupe (2004), y Cosentino y Bates (2011) plantean procesos de retroalimentación ampliados y trabajan con el concepto de *feedback machine* (máquina de retroalimentación), utilizando un algoritmo de aprendizaje⁴ en el que se describe cada una de las variables que intervienen en este proceso.

En la *feedback machine* que desarrollan Peitgen, Jürgens y Saupe (2004) se hace un análisis de su comportamiento dinámico, controlado mediante algunos parámetros externos. Los autores hablan del proceso como semejante al control de un motor mediante una serie de palancas, aunque la máquina de retroalimentación cuenta con una unidad interna de procesamiento de memoria, que conserva la información de los últimos ciclos. En forma de ecuación, lo anterior se expresa como:

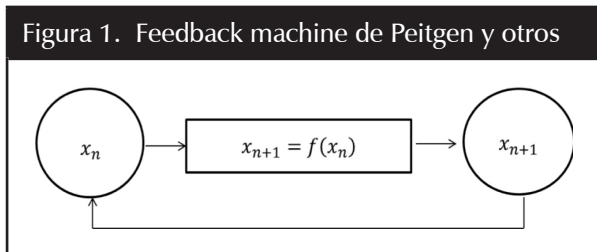
$$x_{n+1} = g(x_n, x_{n-1})$$

Se inicia la unidad de memoria con x_0 , y la unidad de entrada con x_i ; se evalúa la anterior ecuación donde x_n es la unidad de entrada y x_{n-1} es la unidad de memoria. En una *feedback machine*, un par de variables de entrada van a generar un par de variables de salida.

3 El ciclo del proceso de innovación cuenta con características que están directamente relacionadas con los SCA, como lo es el aprendizaje definido como proceso social y la interacción de cada uno de los componentes. Los principales actores en el proceso de innovación son; empresas, universidades, gobierno (programas y proyectos de innovación) y, por último, los agricultores. El proceso de innovación está asociado a la adopción y capacitación (Herrera, 2006).

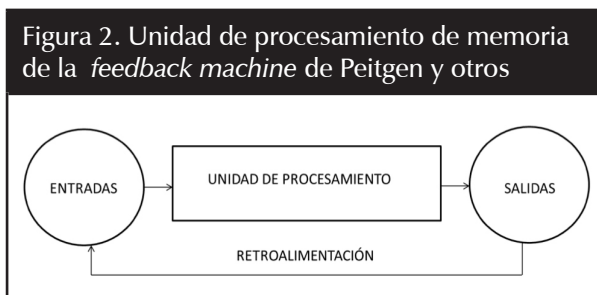
4 Los algoritmos de aprendizaje, son necesarios en una red neuronal para poder definir un procedimiento por el cual las colecciones de un dispositivo varíen para encontrar la salida deseada. Existe una división en los métodos de aprendizaje que son los algoritmos supervisados (Se observa la red de salida y se determina la diferencia entre esta y la deseada, modificando posteriormente el error) y no supervisados (no se conoce la señal, la red se organiza así misma, agrupándose según sus características) (Serrano, Soria, Martín, 2010, p. 20-21).

Cuando entra una variable y_n en segundo lugar, la ecuación queda de la siguiente forma $x_{n+1} = g(x_n, y_n)$, $y_{n+1} = x_n$ generando como salida x_{n+1} y y_{n+1} . En la ecuación es posible introducir un número k de variables independientes, y así se obtiene el mismo número de salidas que de entradas. El anterior proceso puede verse representado en la figura 1.



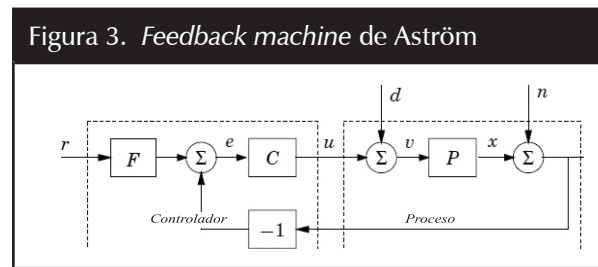
Fuente: Peitgen, Jürgens y Saupe (2004)

A partir de las características de los SCA explicadas anteriormente, se ve que el proceso de innovación se caracteriza por ser dinámico, ya que existe interacción y retroalimentación entre agentes, lo cual fue demostrado teóricamente por Peitgen et ál. por medio de una *feedback machine* con memoria (véase figura 2).



Fuente: Peitgen, Jürgens y Saupe (2004)

A su turno, Aström (2002) se enfoca en discernir las propiedades fundamentales de la retroalimentación con énfasis en el proceso, al cual le asigna la capacidad de seguir las señales de referencia, las perturbaciones y posibles variaciones (véase figura 3):



Fuente: Aström (2002)

En el esquema de Aström se plantean un *controlador* y un *proceso*; en la parte del controlador están C, que es la retroalimentación (-1, un tiempo anterior a la acción inicial); F, que es el *feedforward* (reenvío de información a futuro); hay una entrada r y una salida u ; en la parte del proceso hay dos variables de perturbación, d y n , que afectan el comportamiento deseado y forman parte de la influencia del entorno. La variable x es la que se desea controlar y el proceso tiene tres entradas (u, d, n), y una salida y , encargada de la retroalimentación. Esta representación gráfica también puede emplearse para la actividad agrícola y para el proceso de innovación que se intenta demostrar y que será analizado más adelante.

Las siguientes relaciones describen el proceso de retroalimentación en Astrwöm:

$$X = \frac{P}{1 + PC} D - \frac{PC}{1 + PC} N + \frac{PCF}{1 + PC} R$$

$$Y = \frac{P}{1 + PC} D + \frac{1}{1 + PC} N + \frac{PCF}{1 + PC} R$$

$$U = -\frac{PC}{1 + PC} D - \frac{PC}{1 + PC} N + \frac{CF}{1 + PC} R$$

Se puede observar que estas ecuaciones tienen la misma *función de transferencia*⁵, así que las propiedades que intervienen en la retroalimentación estarán comprendidas en las siguientes funciones de transferencia, llamadas por Aström “la banda de las seis” (“*gang of six*”). Ellas muestran la capacidad de seguimiento de las señales de referencia y los efectos de las perturbaciones y variaciones del proceso.

5 Las funciones de transferencia sirven para mostrar cómo va a reaccionar el sistema en el momento en que ocurran perturbaciones en él.

$$\frac{PCF}{1 + PC} \quad \frac{PC}{1 + PC} \quad \frac{P}{1 + PC}$$

$$\frac{CF}{1 + PC} \quad \frac{C}{1 + PC} \quad \frac{1}{1 + PC}$$

Las funciones de transferencia de la primera columna son la respuesta variable del proceso; en la segunda columna están las mismas señales pero considerando el proceso de *feedback* $F=1$; la función de transferencia $P/1+PC$ indica cómo la variabilidad del proceso reacciona para cargar las perturbaciones a la función de transferencia $C/1+PC$. Cuatro funciones de transferencia son necesarias para describir cómo el sistema va a reaccionar a las perturbaciones y al ruido de la medición. Las siguientes son las funciones de transferencia cuando $F=1$ (Aström, 2002, p. 6):

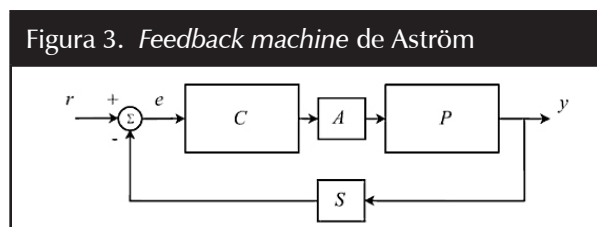
$$\frac{PC}{1 + PC} \quad (\text{Función de sensibilidad complementaria})$$

$$\frac{P}{1 + PC} \quad (\text{La perturbación de carga a la función de sensibilidad})$$

$$\frac{C}{1 + PC} \quad (\text{La función de sensibilidad del ruido})$$

$$\frac{1}{1 + PC} \quad (\text{La función de sensibilidad})$$

Respecto a Cosentino y Bates (2011), desarrollan un proceso de retroalimentación desde la perspectiva del control de los sistemas. El proceso está compuesto por r (señal de entrada al sistema); C (controlador), que envía la señal a A , encargada de llevar la información a P , donde se genera todo el proceso. Hay una salida y , que genera un proceso de retroalimentación positiva o negativa. Como se puede ver en la figura, se trata de un proceso de retroalimentación representado en una *feedback machine*:



Fuente: Cosentino y Bates (2011)

Estudio de caso

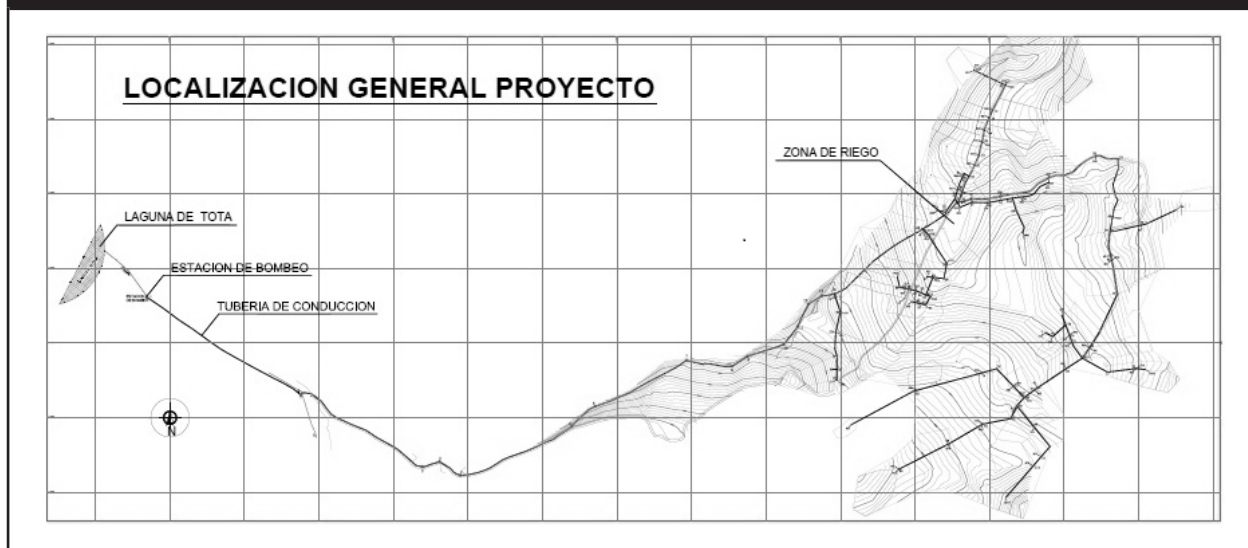
Se encuentra una relación significativa por la cual los procesos de innovación en la agricultura pueden demostrar cómo la interacción, la retroalimentación, el aprendizaje, la dependencia de las condiciones iniciales, y el entorno (características todas de los SCA) logran beneficiar a esa actividad económica. Los beneficios se evidencian, primero, en el mejoramiento de la calidad del producto, que trae consigo un aumento de los ingresos, y en una elevación en la calidad de vida de los habitantes del distrito de riego.

Se realizó un estudio de caso explicativo, que evaluó los efectos del distrito de riego como proceso de innovación en la vereda de Hato Viejo, utilizando datos tanto cuantitativos como cualitativos, con una técnica de análisis extensivo de múltiples fuentes de datos, como entrevistas, observaciones a lo largo del tiempo, archivos e información física. Dicha técnica permitió analizar cuáles han sido los principales efectos de la construcción del distrito de riego La Antigua, en la vereda de Hato Viejo, municipio de Aquitania (véase figura 4), y cómo este proceso de innovación logra caracterizarse como un SCA.

El Distrito de Riego La Antigua se encuentra ubicado en el municipio de Aquitania. Este [municipio] se localiza en la Provincia de Sugamuxi, en el oriente del departamento de Boyacá, y está dividido en 16 veredas, con una extensión de 943 km², de los cuales el 85% se localiza en zona de páramo. Aquitania limita con los municipios de Sogamoso, Mongua, Labranzagrande, Pajarito, Chámeza, Páez, San Eduardo, Zetaquirá, Tota y Cúitiva respectivamente. (Gobernación de Boyacá, 2004)

El cultivo de cebolla larga representa la mayor participación en la zona, con un área sembrada de 6.924 hectáreas, y una producción de 276.960 toneladas anuales, frente a una producción nacional de 336.067 toneladas, de acuerdo con el DANE (2011). De esta forma, la producción de cebolla larga en el municipio de Aquitania corresponde al 82% del total. (Secretaría de Fomento Agropecuario de Boyacá)

Figura 4. Distrito de riego La Antigua



Fuente: Asolaantigua
 Diseño: ing. Álvaro Cortés

La Antigua, un proceso de *feedback machine*

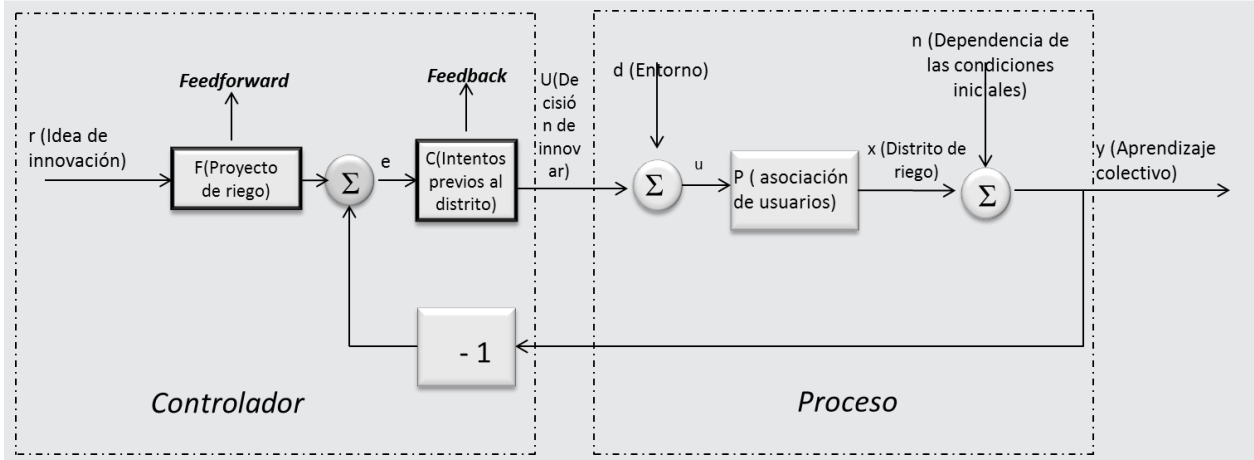
La caracterización como SCA del distrito de riego La Antigua se logró mediante la realización de encuestas semiestructuradas, aplicadas a cada uno de los usuarios. En ellas se indagaba alrededor de cuatro características de los SCA (entorno, aprendizaje-retroalimentación, interacción y dependencia de las condiciones iniciales), que fueron escogidas por la similitud que guardaban con el proceso de innovación que se desarrolla en este momento en ese distrito de riego.

A partir de las categorías utilizadas para la elaboración de las encuestas se utilizará para este trabajo, como elemento visual, una *feedback machine*. En este caso se aplicará la descripción de Aström (2002), que

desarrolla una aplicación al control adaptativo de los sistemas y tiene en cuenta las variables de perturbación. Las funciones de transferencia relacionadas con el proceso de retroalimentación se dejan planteadas; para el desarrollo del estudio de caso no serán resueltas, pero se sugieren para posteriores investigaciones.

El proceso de retroalimentación está compuesto, en la parte del *controlador*, por el número de intentos que se hicieron antes de llevar a cabo el distrito de riego, es decir, el *feedback*. A su vez, el *feedforward* (proceso objetivo) es la variable de entrada, que en este caso es la idea de innovación. La variable de entrada en la parte correspondiente al *proceso* es la decisión de innovar. Así, la *feedback machine* del distrito de riego tiene la forma mostrada en la figura 5.

Figura 5. Feedback machine del distrito de riego La Antigua



Fuente: tomado y modificado de Aström (2002).

Las variables escogidas para el proceso de *feedback* quedan establecidas como sigue: en la parte del controlador, r es la variable de entrada; en este caso, es la idea que tienen los habitantes de Hato Viejo de hacer una innovación en sus procesos agrícolas; F es el reenvío de información al futuro, que Aström describe como respuesta deseada a las señales de referencia, es decir, es la convocatoria del proyecto de riego. A su turno, C es la retroalimentación, que equivaldría aquí a la síntesis de los intentos previos a la adopción del distrito de riego. La variable de salida es u , que es la decisión de los usuarios de llevar a cabo el proceso de implementación tecnológica en su actividad agrícola.

En cuanto al proceso, u es la variable de entrada, que en este caso es la decisión de innovar. Como

variables de perturbación están d , que es el entorno, y n , que es la dependencia de las condiciones iniciales. El proceso P es la puesta en marcha del distrito de riego, que empieza por la conformación de la asociación de usuarios “Asolaantigua”. La variable que se desea controlar es x , que en este caso es el funcionamiento del distrito de riego. Por último, la variable de salida es y , que es el aprendizaje colectivo de los habitantes de la vereda Hato Viejo, lo cual llevará a un proceso de retroalimentación que permitirá la adquisición de nuevos conocimientos en esta secuencia.

A continuación se plantean las funciones de transferencia (Aström, 2002), que muestran cómo reacciona el sistema cuando ocurren perturbaciones en él:

Función de sensibilidad complementaria:

→ Interacción – Retroalimentación

$$\frac{P(\text{Asolaantigua})C(\text{Ensayos previos a la adopción del distrito})}{(1 + P(\text{Asolaantigua})C(\text{Ensayos previos a la adopción del distrito}))}$$

La perturbación de carga a la función de sensibilidad: → Entorno

$$\frac{P(\text{Asolaantigua})}{(1 + P(\text{Asolaantigua})C(\text{Ensayos previos a la adopción del distrito}))}$$

La función de sensibilidad del ruido → Otros Factores de perturbación

$$\frac{C(\text{Ensayos previos a la adopción del distrito})}{(1 + P(\text{Asolaantigua})C(\text{Ensayos previos a la adopción del distrito}))}$$

La función de sensibilidad:

→ ***Retroalimentación + Dependencia de las condiciones iniciales***

$$\frac{1}{(1 + P(\text{Asolaantigua})C(\text{Ensayos previos a la adopción del distrito}))}$$

Las ecuaciones muestran cómo diferentes combinaciones de las variables de controlador y de proceso afectan el resultado final. Para futuras investigaciones se deben considerar otras variables de control y de proceso, que muestren los efectos de perturbaciones, como el entorno y la sensibilidad a las condiciones iniciales.

Caracterización como SCA del proceso de innovación en Asolaantigua

Cada uno de los resultados de la encuesta fue analizado de acuerdo con las características seleccionadas para evaluación (véase tabla 1):

La variable *entorno* fue evaluada como proximidad espacial y facilidad de desplazamiento, y explicada a los usuarios como el estado de las vías de transporte existentes (que comunican los predios con el lugar de comercialización de la producción) en relación con la localización de cada predio.

Se encontró que la vereda Hato Viejo posee buenas vías de comunicación intermunicipales (pavimentadas), que conectan fácilmente con los grandes centros de consumo; en cuanto a las vías veredales no son pavimentadas pero sí adecuadas para el transporte de los productos. Se puede concluir que respecto a la variable *entorno*, la accesibilidad existente a los diferentes predios de la vereda Hato Viejo es un factor importante para el éxito de la comercialización de la producción final.

Axelrod (2000) define a la *interacción* como una de las características fundamentales tanto de los SCA como de los procesos innovadores (Ishimatsu, Sugawara y Sakurai, 2004). En este estudio de caso se identificaron los distintos agentes que interactúan en su interior, tanto en el fomento y funcionamiento del distrito, como en la comercialización de la producción.

Dentro de la variable *interacción*, en las encuestas se buscó determinar los factores de intermediación de la comercialización de la cebolla larga, y los resultados varían según los agentes encuestados. Así, el 12 % argumenta que cuando tienen problemas en la producción debidos al clima, el precio disminuye y por lo tanto prefieren dirigirse directamente a Corabastos para llevar la cebolla, ya que si lo hacen a través de intermediarios tendrán pérdidas. El 20 % de los encuestados responde que no usa intermediarios, y justifica el hecho por la falta de cumplimiento en los pagos por esas personas, y por la percepción de perder parte de sus ganancias. Sin embargo, el 68 % –la mayoría de los agentes– prefiere que la producción se comercialice con intermediarios, que son agentes particulares que llegan a los predios a negociar el producto para llevarlo finalmente a las centrales de abastos del país. De acuerdo con los datos confirmados, los intermediarios están entre los agentes más importantes, ya que son los encargados de llevar el producto a los establecimientos para su consumo final, y de visibilizar así al productor en los grandes mercados.

También en el campo de la interacción, los agentes ven necesario mantener una relación constante con las diferentes instituciones encargadas del desarrollo agrícola, con el fin de acceder a los programas que desarrolle cada una de ellas. Asimismo, para la mayoría de la población encuestada, la interacción con los intermediarios cumple un importante papel en la comercialización de la producción final.

Podemos entonces concluir que la interacción efectivamente influye en el proceso de adopción de la innovación tecnológica, como lo explica Capello (2007, p. 4):

La transferencia de conocimientos a través del tiempo está garantizada por un elemento de continuidad, y por uno de interacción entre los agentes, que garantizan la transmisión entre individuos y empresas, y se convierten en un elemento para la transferencia especial de conocimiento.

Respecto a la variable *apoyo institucional*, el 52% de los usuarios del distrito percibe que la alcaldía ha sido una de las instituciones que mayor interés ha tenido en el desarrollo agropecuario de la región, gracias a los planes de desarrollo que ha venido implantando en el municipio. A la alcaldía le sigue el MADR (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural), con un 28%, y esta percepción es reflejo de los diferentes programas implantados por ese ministerio en pro del sector. El tercer lugar lo ocupa la Gobernación de Boyacá con un 16%; en cambio, el IICA solo cuenta con el 4%, cifra que refleja que muy pocos agricultores sienten a este instituto como fuente de apoyo en el municipio; en efecto, en la zona no se han implementado programas técnicos provenientes del IICA.

En el aprendizaje, la retroalimentación es una de las variables que más influye en el proceso de innovación (Johnson, 2007). En la encuesta, esta característica se valoró con los siguientes criterios: número de ensayos previos al caso exitoso del distrito de riego, creatividad y número de agentes involucrados, y, por último, nivel

de educación de los 50 usuarios del distrito de riego. Se obtuvieron estos resultados:

Ensayos previos a la adopción del sistema de riego. Todos los agentes coincidieron en que intentaron regar sus cultivos con: a) Motobomba; b) Riego por gravedad⁶; c) Reservorios⁷.

Todos estos tipos de riego estuvieron en funcionamiento por 15 años, sobre todo en época de sequía. Los agentes de la vereda Hato Viejo decidieron utilizar estos tipos de riego, al retomar las experiencias de los cultivadores de otras veredas. Los agentes adoptaron individualmente estas tecnologías (motobomba, riego por gravedad, reservorios) con recursos y materia prima propios, y esta constituyó una primera etapa de aprendizaje.

Creatividad y número de agentes involucrados. Los dueños de los predios de la vereda Hato Viejo son los agentes involucrados en el proceso de adopción de un sistema de riego. Por medio de un trabajo grupal, ellos colaboraron para poder construir la infraestructura (conexión de tuberías de acuerdo con la cercanía de los predios), ya que no contaban entonces con apoyo institucional.

El aprendizaje *-feedback-* ocurrió cuando los usuarios, a pesar de haber instalado individualmente su sistema de riego, se vieron enfrentados a los siguientes inconvenientes: en el caso de la motobomba, su funcionamiento era costoso por el precio de la gasolina y además no suministraba la presión suficiente para regar la totalidad de los cultivos; en cuanto al riego por gravedad y sus reservorios, no tenían mucha duración; además, la motobomba extraía el agua de la quebrada El Páramo, pero esta se secaba cuando no había temporada de lluvias, todo lo cual provocaba pérdidas en los cultivos.

Debido a todos estos problemas técnicos y a los costos de operación, y gracias al proceso de ensayo y error que empezara en 1997, los usuarios pensaron

6 Riego por gravedad; cuando se distribuye el agua por la superficie del suelo, hasta inundarlo completamente.

7 Los reservorios son estructuras que se construyen en una finca para poder obtener agua.

en adoptar otro tipo de proceso tecnológico que les rindiera beneficios tanto productivos como económicos: un distrito de riego. Paralelamente se dio la posibilidad de presentarse a las convocatorias que hicieron el MADR y la Secretaría de Fomento Agropecuario para el programa AIS. Fue entonces cuando los agentes decidieron invertir en la construcción del distrito de riego.

Los agentes actúan entonces de acuerdo con la experiencia de los eventos pasados; según estos datos, el factor de adaptación y la retroalimentación son dos de las características de estos agentes, ya que, a través de cambios en los diversos procesos de innovación que han venido desarrollando a lo largo de los años, han sabido hacer una evaluación del éxito y el fracaso de cada uno de ellos.

El aprendizaje forma parte de las relaciones que existen entre los agentes y servirá para poder anticiparse a los acontecimientos; de esta forma, la experiencia es parte importante de la adopción de nuevas tecnologías por los agentes, debido a que todos los usuarios están compartiendo un fin común, que en este caso es adoptar el distrito de riego como solución compartida; así, todos los agentes van a cooperar con este fin (Johnson, 2007).

Nivel de educación en Asolaantigua. El 68 % de los usuarios del distrito no logró completar su educación primaria, pero el 32 % restante está compuesto por bachilleres académicos. Esto mostraría que, para el caso en estudio, el aprendizaje no se encuentra condicionado por el nivel de educación de los habitantes.

Podemos por tanto concluir que la implementación del distrito de riego en la vereda Hato Viejo es “un proceso social de acumulación de conocimientos, sobre la base de un conjunto de reglas compartidas y procedimientos que permiten a los individuos coordinar sus acciones en la búsqueda de soluciones a los problemas” (Capello, 2007, p. 2). Los factores de aprendizaje y retroalimentación son los que más contribuyeron en el momento de decidir invertir en innovación, cuando se

necesitó dejar de lado aquellos procesos que les habían traído pérdidas.

En cuanto a la *dependencia de las condiciones iniciales*, se definieron a partir del análisis de los casos exitosos y no exitosos de las veredas cercanas a Hato Viejo, al evaluar qué factores influyeron en los resultados obtenidos. Como producto de las encuestas, se obtuvieron los factores que influyeron directamente:

Factores en casos exitosos	Factores en casos NO exitosos
Apoyo institucional (Alcaldía, Gobernación de Boyacá, MADR, IICA). Adaptabilidad al proceso de innovación. Cooperación entre los usuarios.	Falta de organización de los usuarios. Falta de cooperación (entre los usuarios y las instituciones que apoyan proyectos de riego). Falta de apoyo institucional.

Fuente: elaboración propia a partir de las encuestas.

La tabla muestra las condiciones iniciales necesarias en Hato Viejo para lograr éxito en el momento de adoptar nuevas tecnologías. La diferencia entre los casos exitosos y no exitosos muestra cuáles son los factores que van a influir positiva o negativamente, después de haber puesto en marcha un proyecto específico.

El apoyo institucional es uno de los factores más importantes, ya que con él se puede lograr una asesoría para el diseño del distrito de riego. Esta función la llevó a cabo, en este caso, la Secretaría de Fomento Agropecuario de Boyacá.

La dependencia de las condiciones iniciales desempeña un papel fundamental en el éxito de los proyectos que se quieren desarrollar. En los resultados de las encuestas se hizo evidente que estos factores influyeron de forma crucial en la implementación de procesos de innovación agrícola, y determinaron el éxito o fracaso de los proyectos que se decidió implementar, tanto en Hato Viejo –lugar del caso de estudio– como en las veredas cercanas.

Las características evaluadas en las encuestas muestran que efectivamente la innovación en procesos agrícolas –en este caso, el distrito de riego La Antigua– se comporta como un SCA, ya que las características de entorno, aprendizaje, interacción, dependencia de las condiciones iniciales y retroalimentación influyeron en la adopción y funcionamiento del proceso de innovación agrícola.

Los procesos de innovación como generadores de beneficios socioeconómicos: caso La Antigua

En los predios del distrito de riego, la única actividad económica que se lleva a cabo es la agrícola, y la mayor parte de su superficie es explotada con cultivos de cebolla larga. Como ya se dijo, el municipio de Aquitania produce el 82 % de la cebolla larga de todo el país (Secretaría de Fomento Agropecuario de Boyacá, s.f.).

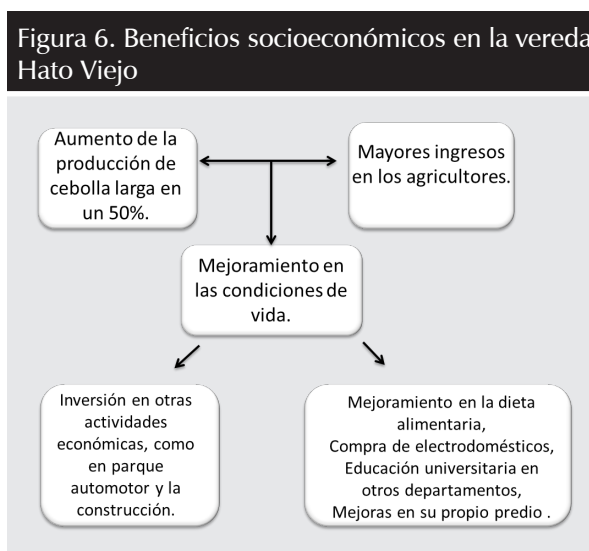
No es evidente que haya diversificación de la producción agrícola en la zona, debido a que el cultivo de cebolla predomina ampliamente; sin embargo, se cultivan papa, arveja, habas y zanahoria; estos cultivos son casi en su totalidad para el consumo de las familias y ocupan pequeñas áreas, aunque algunos usuarios comercializan una parte de ellos en el municipio.

Como principales aspectos socioeconómicos que se encontraron al cabo de la encuesta, hay que destacar que en los predios donde viven los usuarios encuestados no existe acueducto ni alcantarillado; el agua la obtienen de una fuente natural, la quebrada El Páramo, que atraviesa la misma vereda. El 84 % de los predios cuenta con luz eléctrica; el 92 % de los usuarios tiene estufa de carbón y leña, y el 8 % restante cuenta con estufa de gas propano. Cabe resaltar también que algunos de los usuarios no viven en la vereda.

Las principales dificultades que los agricultores de la zona encontraban en el momento en que decidieron mejorar la productividad de sus cultivos, inmediatamente antes de la adopción del distrito eran: la falta de conocimientos en lo relativo a procesos de innovación,

problemas con las sequías, costo de los insumos y, en algunas épocas del año, escasez de mano de obra.

Se adoptó el distrito de riego como proceso de innovación tecnológica, con el fin de solucionar las dificultades de productividad en la vereda Hato Viejo. Y bastó con que se recogiera la primera cosecha luego de la entrada en funcionamiento del distrito, para que se notaran los primeros beneficios económicos y sociales, representados en el siguiente círculo virtuoso:



Fuente: elaboración propia a partir de las encuestas.

Conclusiones

En la búsqueda de la relación entre la teoría de los sistemas complejos adaptativos (SCA) y la innovación en procesos agrícolas, las siguientes conclusiones recogen las experiencias, inquietudes y deducciones obtenidas a raíz del estudio en el distrito de riego La Antigua, en el municipio de Aquitania, departamento de Boyacá, Colombia, donde se interactuó con los asociados con el propósito de hacer aportes para mejorar los procesos de innovación.

La interacción entre los campesinos y las diferentes instituciones encargadas de programas y proyectos de desarrollo agrícola, al igual que la dependencia de las condiciones iniciales, determinan en gran medida el éxito en los casos de innovación.

Los procesos innovadores no solo ayudan al crecimiento de la agricultura, sino que provocan un mejoramiento en las condiciones de vida de los agricultores.

En este caso de estudio se pudo comprobar la *no* existencia de fenómenos emergentes, confirmada en el momento en que los agentes deciden participar (y hay que resaltar que a este proceso de interacción no llegan los agentes de manera espontánea) en las convocatorias del AIS para la construcción del distrito de riego, cuando se hace evidente la presencia de un *controlador* (véase atrás la *feedback machine* de Aström), en este caso el MADR, la Secretaría de Fomento Agropecuario y la asociación de usuarios, agentes encargados del funcionamiento, asesoría técnica y gerencial del proyecto.

Se observa que efectivamente se cumple un proceso de *feedback* (retroalimentación) que provoca la adopción del distrito de riego en la vereda de Hato Viejo. El proceso se evidencia al revisar las experiencias anteriores de los habitantes de la zona, de las que cada uno ha ido aprendiendo, no solo en lo que respecta al proceso de innovación sino en lo relativo a la interacción con las diferentes entidades e intermediarios.

Como elemento de análisis, la *feedback machine* construida para el presente estudio fue fundamental para reconocer que los factores que se escogieron como parte del proceso de innovación efectivamente llevaron a un desarrollo del aprendizaje. Dichos factores fueron evaluados por medio de las encuestas realizadas, las cuales permitieron ver la retroalimentación como el factor responsable de mejorar los procesos tanto de innovación como de interacción entre los agentes.

La descripción del proceso de innovación agrícola, en este caso el del distrito de riego La Antigua, nos permite concluir que el número e intensidad de interacciones, la capacidad de memoria y el aprendizaje, así como los cambios en las condiciones iniciales condicionan el éxito de un proceso de innovación.

Recomendaciones

Tras el análisis del estudio de caso de la vereda Hato Viejo, se evidenció la necesidad de desarrollar un plan integral de acompañamiento a los agricultores para desarrollar programas de formación basados en la tolerancia y la solidaridad, con el fin de fortalecer el tejido social y garantizar los buenos resultados de los programas del Estado en el sector rural, teniendo en cuenta que el éxito de estos distritos radica en la interacción y la cooperación.

Los agricultores del distrito de riego La Antigua se encuentran cercanos a la tercera edad, tienen bajos niveles de educación y sus herederos no quieren reemplazarlos en las labores del campo; por tal motivo se hace necesario iniciar la preparación de agricultores jóvenes que promuevan asociaciones que hagan parte de procesos de cadenas productivas, para hacer frente a los nuevos procesos innovadores.

En el proyecto de innovación y en relación con los procesos de capacitación y transferencia de tecnología, se debe insistir en un programa de concientización de la comunidad, acerca de la disposición de los residuos sólidos y de buenas prácticas agrícolas, que conlleven la conservación y preservación de los recursos naturales.

Referencias

- Alvarado, R. (s.f). *Primer Seminario Nacional de Economía Institucional “Fronteras de análisis económico de las instituciones”*, Ponencia: Sistemas complejos adaptables y cooperación. Extraído de <http://www.laisumedu.org/desin/fronteras/Alvarado.pdf>
- Aström, K. (2002). *Feedback Fundamentals*.
- Axelrod, R. y M. D. Cohen. (2000). *Harnessing Complexity*, New York: Basic Books.

- Banco Mundial (2008). *Incentivar la innovación agrícola. Cómo ir más allá del fortalecimiento de los sistemas de investigación.*
- Baranger, M. (2001). *Chaos, Complexity, and Entropy: a Physics Talk for Non-physicists.* Extraído de <http://necsi.edu/projects/baranger/cce.pdf>
- Capello, R. (2006). La economía regional tras cincuenta años. Desarrollos teóricos recientes y desafíos futuros. *Investigaciones regionales*, n.d.(009), 169–192. Extraído de <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/289/28900909.pdf>
- Capello, R. (2007). Spatial transfer of knowledge in high-tech milieu: learning vs. collective learning processes. Extraído de <http://www.sre.wu-wien.ac.at/ersa/ersaconfs/ersa98/papers/359.pdf>
- Cosentino y Bates (2011). *Feedback Control in Systems Biology.* Extraído de http://books.google.com.co/books?id=GirU7ZCbSrQC&printsec=frontcover&dq=Feedback+Control+in+Systems+Biology&source=bl&ots=KM0N2DdkNX&sig=SA4f4SVJMgj2K_EyZgrDfOXSp9M&hl=es&sa=X&ei=Yo0gUMPkHI-i8QSRmYCQBA&ved=0CCwQ6AEwAA#v=onepage&q=Feedback%20Control%20in%20Systems%20Biology&f=false
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (2012). Indicadores coyunturales. Extraído de http://www.dane.gov.co/files/ses/ses_2010/indicadores_coyunturales_dic10.pdf
- Formichella, M. (2005). La evolución del concepto de innovación y su relación con el desarrollo. Estación Experimental Agropecuaria Integrada Barrow (Convenio MAA y P-INTA).
- Gobernación de Boyacá (2004). *Esquema de Ordenamiento Territorial 2004-2007*, municipio de Aquitania.
- Ishimatsu, H., Sugawara, Y. y Sakurai, K. (2004). Understanding innovation as a complex adaptive system: case studies from Shimadzu and NEC. *Pacific Economic Review*, 9(4), 371-376. Extraído de <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1468-0106.2004.00256.x/pdf>
- Johnson, N. (2007). *Simply Complexity: a clear guide to complexity theory.* Extraído de http://www.oneworld-publications.com/pdfs/simply_complexity.pdf.
- Katz, J. (2006). Indicators for complex innovation systems. Sciencedirect, n.d. Extraído de <http://www.sussex.ac.uk/Users/sylvank/pubs/ICIS-RP.pdf>
- Kitano, H. (2002). Computational systems biology. *Nature*, 420(n.d). Recuperado de <http://people.mbi.ohio-state.edu/baguda/AgudaLab/be700/kitano2002.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2011). Proyecto de ley general de desarrollo rural. Extraído de http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Documento/SubAsistencia/P5.proyecto_de_ley_general_desarrollo_rural.pdf
- Peitgen, H.O., Jürgens, H. y Saupe, D. (2004). *Chaos and Fractals: New Frontiers of Science.* Germany: Springer
- Russo, M. y Rossi, F. (2009). Cooperation networks and innovation. A complex system perspective to the analysis and evaluation of a EU regional innovation policy programme. Extraído de http://mpira.ub.uni-muenchen.de/10156/1/Russo_and_Rossi_Evaluation.pdf
- Secretaría de Fomento Agropecuario de Boyacá (s.f). *Fichas comerciales de productos > Cebolla junca > Características del producto.* Extraído de <http://www.boyaca.gov.co/?idcategoria=6873>

- Schumpeter, J. (Ed.). (1935). *Análisis del cambio económico. Ensayos sobre el ciclo económico*. México: Fondo de Cultura Económica. Extraído de <http://eumed.net/coursecon/textos/schump-cambio.pdf>
- Smith, T. y Stevens, G. (1994). *Emergence, Self-organization and Social Interaction: arousal-dependent structure in social systems*. Extraído de <http://www.santafe.edu/media/workingpapers/94-08-046.pdf>

Bibliografía

- Babarenda, G., Boyle, C. y McDowall, I., (s.f). *The Development of an Integrated Model for Assessing Sustainability of Complex Systems*. Extraído de <http://nzsses.auckland.ac.nz/conference/2010/papers/Gamage-Boyle-McDowall.pdf>
- Herrera, F. (2006). Innovaciones tecnológicas en la agricultura empresarial mexicana. Una aproximación teórica. *Gaceta Laboral*, 12(001), 91-117. Extraído de <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/336/33612105.pdf>
- Heylighen, F. (2008). Complexity and self-organization. Extraído de <http://cleamc11.vub.ac.be/Papers/ELIS-complexity.pdf>
- McElroy, M. (1999). Second-Generation KM. Extraído de <http://www.learning-org.com/docs/McElroy2ndGenKM.pdf>