

## GENERACION DE ESCENARIOS FUTUROS PARA LA REGION DE AISEN (CHILE) APLICANDO AUTOMATA CELULAR \*.

\* Este artículo presenta resultados del proyecto FONDECYT 1960057.

**Adriano Rovira\*\* y Leonardo Lavanderos\*\*\***

\*\* Instituto de Geociencias, Universidad Austral de Chile, Valdivia (Chile); investigador del Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia (CIEP), Coyhaique (Chile) y del Centro de estudios A. von Humboldt, Buenos Aires (Argentina).

\*\*\* Corporación SINTESYS, Santiago (Chile).

## RESUMEN

Los modelos de autómatas celulares han demostrado una gran capacidad para simular la evolución de una determinada distribución espacial en un periodo de tiempo dado, siguiendo unas reglas de transición especificadas por el investigador, y que en este caso se obtuvieron por medio de una metodología de análisis multicriterio y multiobjetivo, aplicada a un grupo de actores regionales. Si bien el modelo ha sido aplicado preferentemente a problemas de uso del suelo urbano, en este caso se le utiliza para estimar la evolución del uso del suelo rural en la región de Aysén.

El procedimiento seguido permitió definir un escenario futuro de distribución de los usos del suelo, cuantificar los cambios y localizarlos espacialmente. Los resultados de la aplicación del modelo deben ser entendidos como una respuesta probable del sistema territorial, atendidas determinadas condiciones que controlan los cambios y que han sido incorporadas al análisis. En el caso de estudio estas reglas determinaron una disminución de las tierras sin uso y cubiertas de bosques, en beneficio de usos más productivos, como cultivos y praderas y montes para ganadería.

Se concluye que el modelo empleado se presta para la simulación de la evolución temporo-espacial de los usos del suelo, destacando la necesidad de una cuidadosa identificación de las reglas que regirán los procesos de cambio.

**Palabras clave:** autómatas celulares, escenarios, Aysén.

## ABSTRACT

Cellular automata has shown a great capacity simulating the evolution of a particular spatial distribution in a given period of time, following transitional rules specified by the investigator, which in this case were obtained through a multiobjective – multicriteria analysis methodology and applied to a group of regional actors. While the model has been applied mainly in problems of urban land use, in this case it is used to estimate the evolution of rural land use in Aysén.

The procedure followed made it possible to define a future scenario of land use distribution, and quantify the changes and its spatial location. The results of the implementation of this model should be seen as a probable response of this territorial system met certain conditions that control the changes which have been incorporated into the analysis. In this case these rules determined a decrease of land unused and covered with forests, benefiting more productive uses, such as crops and cattle pastures.

It is concluded that the model used is suitable for the simulation of the time-spatial evolution in land use, stressing the need for careful identification of the rules that govern the processes of change.

**Key words:** Sauce Chico river basin, fluvial processes, hypsometry, hydrography.

## INTRODUCCIÓN

La Región de Aysén, en el extremo austral de Chile, se ha caracterizado por un ritmo de crecimiento muy bajo, el que no ha podido dinamizarse ni siquiera con la construcción del camino longitudinal austral, pese a que se responsabilizaba a la falta de conexiones internas y externas, del citado estancamiento. En la actualidad la Región se encuentra en un momento clave de su historia, buscando aceleradamente alcanzar un crecimiento económico que le abra las puertas al desarrollo. Como estrategia para el crecimiento, surge la atracción de inversiones privadas nacionales y extranjeras, a través de la formulación de grandes proyectos en diferentes rubros de actividad, como los que actualmente existen en diferentes etapas de estudio

Paralelamente a la búsqueda de estas inversiones, la Región está interesada en mantener un "sello verde", que garantice la calidad ambiental del espacio regional. Esto se considera de gran importancia para el desarrollo del turismo y para la exportación de sus recursos. Este es un claro ejemplo de la problemática central del binomio "desarrollo - medio ambiente".

Políticas de desarrollo como las que se pretenden aplicar en la Región de Aysén, pueden llevar a un notable crecimiento de las actividades económicas y de la población. Sin embargo no se dispone de la capacidad para afirmar algo respecto a la distribución de esas actividades y esa población, al interior de la Región, lo que puede resultar crucial respecto a la forma en que ella responderá a la población adicional.

El problema planteado respecto a la expresión espacial de los efectos territoriales debidos a cambios macro económicos y súper estructurales, derivados principalmente de decisiones tomadas en el nivel socio-económico, de carácter nacional y no regional, forma parte de los temas de trabajo de la planificación territorial y del ordenamiento territorial.

En una sociedad flexible y regida por los principios del libre mercado, muchos se sienten tentados a declarar que la planificación ha muerto. Sin embargo, lo que parece haber muerto es el viejo estilo de hacer planificación, el que necesita ser reemplazado por una nueva concepción acorde con la realidad contemporánea. A este respecto Friedman (1992) hizo un interesante análisis en relación al rol que le cabe a la planificación en la sociedad post moderna, llegando a la conclusión que la planificación modernista con sesgo positivista y racionalista, resulta imposible desde

una perspectiva histórica. Y agrega que necesitamos entonces concebir una forma de planificación que sea capaz de funcionar dentro de un desorden y una complejidad crecientes.

Desde sus comienzos la planificación y su proceso de toma de decisiones ha estado sesgado fuertemente al positivismo lógico. La facultad de predecir basándose en leyes naturales y sociales se convirtió en la base de una compensación entre acción y control. Sin embargo, hoy en día existen condiciones que determinan que el proceso de planificación y toma de decisiones derive en una nueva aproximación epistemológica.

Esa planificación positivista racionalista, cuya orientación era hacia una ingeniería social, es la que se refleja en la práctica de la planificación en Chile. Esto se puede apreciar en la documentación elaborada por las administraciones y gobiernos subnacionales, en las que abunda la información, pero se carece de conocimiento sobre su realidad por lo que esa información, en la práctica, no sirve de alimento al proceso de toma de decisiones (Lira 1997).

En la actualidad se avanza hacia un mundo dominado por concepciones no euclidianas, con muchas geografías espacio-tiempo, lo que obliga a pensar en modos nuevos y más adecuados de hacer planificación. Esta nueva planificación no euclidiana, además es descentralizada, porque privilegia las regiones y las localidades como una forma de comprometer a la población afectada con el proceso de planificación. Junto a lo anterior, esta nueva planificación funciona en el tiempo real, uniendo conocimiento y acción y situando al planificador en el centro de la actividad (Friedman, 1992).

En este plano es que se entiende la incorporación del concepto de planificación territorial, en reemplazo de la planificación espacial o regional, de corte tradicional, racionalista y positivista. Pero para ello es necesario entender el territorio como la identidad manifiesta de la relación sociedad-naturaleza. Crevoisier (1996) en este sentido afirma que el espacio territorial debe entenderse como la unión de la proximidad física de varios elementos y de las relaciones socioeconómicas entre esos elementos. El territorio, así entendido, funciona entonces sobre la base de la multidimensionalidad y la interdependencia y corresponde al tipo de sistemas de alta complejidad (Anderson, 1996).

Frente al problema de trabajar con sistemas territoriales, se ha planteado el tema de su complejidad, por lo cual los modelos que se construyen con el enfoque positivista reduccionista, buscan simplificar esa realidad. Se ha pensado tradicionalmente que el desorden que parece reinar en el mundo real oscurece una realidad simple que le subyace, por lo que el esfuerzo debe orientarse a remover ese desorden permitiendo que aflore la simpleza subyacente. Actualmente y como resultado de los conceptos derivados de los fractales, de la teoría del caos y de la evolución estructural (Kay, 1996), parece ser mucho más razonable suponer que la complejidad constituye de hecho el orden real inherente al sistema. En años recientes ha existido un importante movimiento “desde la parsimonia - *tan simple como sea posible*- a la complejidad realista - *tan complejo como necesita ser*” (Gould et al 1997).

Este orden complejo tiene una rica historia y un alto contenido de información, por lo que se puede llegar a afirmar que el caos es una expresión de la complejidad de los sistemas dinámicos (Rogerson, 1994). Para la aplicación de estos principios a los problemas espaciales, es esencial tener herramientas de modelamiento capaces de reproducir la generación de patrones complejos por medio de reglas simples. Debido a ello, según Holt y Benwell (1996), es que para el análisis espacial se han desarrollado varias soluciones asociadas a la adopción de técnicas de inteligencia artificial, como es el caso de los sistemas expertos, la lógica difusa, los sistemas de conexiones híbridas, los modelos de multi nivel (Bullen et al, 1997), las redes neuronales (Benwell et al, 1995; Purvis et al, 1996; Purvis et al, 1997; Yin y Xu, 1991) y los modelos de autómatas celulares (White y Engelen, 1993).

Una respuesta tecnológica y conceptual para enfrentar estos problemas, ha sido el desarrollo de los sistemas de información geográfica (SIG), los cuales permiten almacenar, relacionar y manipular grandes volúmenes de información georeferenciada. Esta es la principal ventaja que ofrecen los SIG frente a otros procedimientos de análisis de información, puesto que reúnen en una herramienta la información de los atributos de los objetos y de la localización espacial de esos objetos. Esto hace que los SIG sean muy provechosos en tareas de gestión, de diseño de políticas, de toma de decisiones y en la comunicación con el público y los usuarios (Budic, 1994)

Los grupos que se dedican a la información y modelamiento territorial, por su parte, señalan como la principal deficiencia de los sistemas de información geográfica en uso, la pérdida de su funcionalidad analítica y de modelamiento. De ello surge la necesidad de generar interfaces que integren los sistemas de información geográfica

con aproximaciones analíticas adicionales, lo que ha generado el surgimiento de la noción de sistemas de información espacial inteligentes.

Una forma de enriquecer la capacidad de los SIG ha sido su complementación con métodos de toma de decisiones con multicriterio - multiobjetivo (Jankowski, 1995). De esta manera se trata de contar con otras herramientas al momento de asignar usos óptimos al territorio, por ejemplo (Hickey y Jankowski, 1997).

Dado que los sistemas territoriales constituyen sistemas dinámicos de alta complejidad, es necesario usar métodos no lineales, basados en conceptos del caos, si se espera tener éxito en la planificación del territorio (Rogerson 1994). Las técnicas de modelamiento dinámico con ecuaciones diferenciales, han probado ser eficientes para explicar procesos de alta complejidad como la circulación atmosférica, la dinámica demográfica y el crecimiento urbano o regional. Sin embargo cuando el objeto de estudio es un sistema espacial complejo, estos procedimientos resultan demasiado engorrosos y hasta impracticables (Weidlich y Haag 1987).

En este sentido White y Engelen (1993) han propuesto el uso del modelo de autómatas celulares, para sistemas espaciales complejos, el que ha resultado importante en estudios urbanos, pero se le debe complementar con otras técnicas de modelamiento. El éxito de la aproximación depende en gran medida de la posibilidad de integrarse con los SIG.

White y Engelen (1994) señalan que los llamados modelos celulares, entre los cuales se encuentra el “autómata celular” tienen numerosas ventajas técnicas por sobre otros procedimientos de modelamiento, las que resultan de gran importancia en los procesos de toma de decisiones ligados al ordenamiento territorial. La más obvia de estas ventajas es el enorme detalle espacial que es capaz de alcanzar, lo que puede llegar a ser crucial cuando se necesita precisión en las opciones de localización. Esto hace posible una mejor integración de factores físicos y ambientales en el modelamiento económico y social, en la medida en que proveen posibilidades de vincular las bases de datos espaciales de los SIG con los modelos agregados de la ciencia regional y la economía (White y Engelen, 1997).

El tema de “predecir el futuro” ha sido una constante en las preocupaciones científicas. Sin embargo, en los últimos tiempos, esta tarea se ha tornado cada vez más dificultosa, en la medida en que la incertidumbre en el futuro de largo plazo se ha

incrementado significativamente, más aun en el contexto de la globalización. Los sistemas complejos poseen mecanismos de cambio que requieren de las ciencias una aproximación que considere esa impredecibilidad y la sorpresa, toda vez que parecen estar en el tejido mismo de la realidad (Gallopín, 1996).

Los sistemas territoriales presentan estas características de fuerte incerteza, correspondiendo, según Dempster (1996) a “sistemas sinpoieticos”, es decir sistemas auto organizados, complejos e inherentemente impredecibles. Los métodos tradicionales de la ciencia resultan inadecuados para este tipo de sistemas, por lo cual se deben recurrir a procedimientos de la llamada “ciencia post-normal” y a métodos adaptativos (Dempster, 1996).

En atención a esto es que al construir escenarios posibles de futuro, en realidad, más que predecir el futuro se está explorando “los límites de lo posible”, en palabras de Gallopín (1996). Con los autómatas celulares lo que se consigue es someter a prueba hipótesis de reglas de transición, buscándose repuestas a preguntas del tipo “¿que pasa si?”. El modelo entonces, más que predecir el futuro, trata de explorar los posibles cursos de evolución bajo un determinado conjunto de supuestos y deja abierta la posibilidad para que el investigador y el planificador, sometan a prueba diferentes juegos de hipótesis de manera de generar escenarios alternativos (White y Engelen, 1997).

### Área de estudio

Dentro de la Región de Aysén, se ha podido determinar la existencia de diferentes condiciones objetivas de desarrollo para las actividades económicas (Barrios y Rovira, 1996). Por otra parte, en estudios de la percepción que los agentes económicos regionales tienen de su territorio, también se llegó a caracterizar espacios de diferente dinámica y vocación productiva.

Atendiendo a lo anterior se ha distinguido un sector norte y central, que es el que concentra la mayor actividad económica, los más importantes núcleos de población y la mejor infraestructura de transporte y comunicaciones. Este sector es además el que presenta las condiciones más dinámicas y las mayores perspectivas de desarrollo en un futuro cercano. Entre las razones que se aducen para esta condición, existen algunas de tipo histórico (es el área de más antiguo poblamiento) y otras de

carácter natural (se presentan los mejores suelos para ganadería, los bosques más convenientes para producción y condiciones climáticas menos extremas).

En contrapartida, el sector sur de la Región, presenta condiciones más limitantes y, en general, no se espera una irrupción en el escenario del desarrollo, por lo menos en el futuro cercano. Esto podría verse fuertemente modificado con la construcción de las cuatro centrales hidroeléctricas que se encuentran en proyecto.

Por esta razón, para los efectos de este análisis se ha centrado la atención en el área de mayor dinamismo, es decir la situada al norte del eje Coyhaique - Puerto Aysén (Figura 1).

### METODOLOGÍA

Para enfrentar el problema de investigación, se ha optado por la aplicación de un modelo del tipo autómata celular, toda vez que mediante su utilización es posible dar cuenta de aspectos de dinámica temporal y espacial. Además este tipo de herramienta hace posible trabajar con matrices espaciales de buen nivel de detalle, en la medida en que se apoyan en una base de datos SIG. La información base, sobre la cual opera el modelo es un SIG, el que también es usado para expresar el resultado del modelamiento.

Los “autómata celulares” son sistemas discretos dinámicos, es decir que en ellos no se presenta una variación continua de los parámetros. Pueden definirse como sistemas dinámicos espaciales muy simples, en que el estado de cada una de las celdas en una matriz, depende del estado previo de las celdas en su cercanía, siguiendo un conjunto de reglas de transición. Debido a que el sistema es discreto, opera iterativamente e implica interacciones al interior de áreas locales, antes que entre pares de celdas, resulta muy eficiente desde un punto de vista computacional. Por esta razón es posible aplicarlo a trabajos con grillas que contienen miles de celdas, como es el caso del trabajo con sistemas de información geográfica.

En este caso se trabajó con información relativa al uso actual del suelo, expresada en cuatro tipos de uso: cultivos, praderas, montes y bosques; a los que se agregó una condición de tierras vacantes y una condición de cobertura respecto a la cual no es posible introducir modificaciones, como es el caso de los lagos, glaciares y

las superficies protegidas por el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE).

El hecho de que una celda en un estado particular, cambie a otro estado o permanezca en el mismo, dependerá de la aplicación de la ecuación propuesta por White, Engelen y Uljee (1997) :

$$P_{hj} = vs_j (1 + \sum m_{kd} I_{id}) + H_j$$

en la cual  $P_{hj}$  corresponde al potencial de transición desde el estado  $h$  al estado  $j$ ;

$m_{kd}$  es un parámetro de ponderación que se aplica a la celda en una zona de distancia  $d$  y que corresponde al efecto de proximidad, de fricción distancia y/o de difusión por vecindad, entre un uso del suelo y otro.

El valor  $I_{id}$  es de 1, cuando el estado de la celda  $i$  es igual a  $k$ , o 0 en cualquier otra condición; siendo  $i$  el índice de las celdas al interior de la zona de distancia  $d$  (en este sentido,  $I_{id}$  selecciona el peso que corresponde -  $m_{kd}$  - aplicar a la celda en la localización  $i$ ,  $d$ ).

$H_j$  por su parte es un parámetro que representa la inercia, con valores sobre 0 cuando  $j = h$  e iguales a 0 en cualquier otra condición. Este parámetro evalúa la resistencia que se ofrece al cambio desde el estado actual de la celda y responde a características intrínsecas del estado en que ella se encuentra.

$v$  es un término de perturbación estocástica.

$s_j$  representa la aptitud que la celda posee para sostener un determinado estado.

Dado que  $P_{hj}$  es mayor que 0, excepto cuando  $s_j$  es 0, se puede apreciar que todas las celdas de la matriz espacial tienen una posibilidad superior a 0 de cambiar, exceptuando aquellas impedidas por la limitante de aptitud. El valor de  $m_{kd}$  asigna a cada celda un peso diferente, en cuanto a su influencia sobre el cambio de estado de la celda central, en función a la distancia que las separa. Aquellas que se encuentran más próximas tendrán un peso mayor. Estos pesos pueden ser positivos -

representando efectos de atracción o de propensión a la difusión - o negativos - si los dos estados son incompatibles.

Los potenciales de transición se estiman para cada celda de acuerdo a los efectos de vecindad, en un área formada por 113 celdas (Figura 2). Los coeficientes  $m_{kd}$  evalúan las interacciones entre celdas que ocupan diferentes estados, dando cuenta de los factores de localización espacial, distancia y difusión. Estas interacciones pueden interpretarse como tolerancia, facilitación o inhibición, y sus valores son representados en los gráficos correspondientes (Figuras 3, 4, 5 y 6).

En cada iteración el sistema calcula un conjunto de potenciales de transición para cada celda, uno para cada estado al cual la celda puede ser cambiada, incluyendo aquel en el que actualmente se encuentra. Estos potenciales de transición dan cuenta de la tendencia al cambio de la celda en sí misma, así como de los efectos agregados que se derivan de los estados en que se encuentran las celdas en su proximidad.

Esto implica que una celda que se encuentra en estado praderas, tiene un potencial de conservar esa condición, que se refleja en el valor de inercia asignado al estado; y al mismo tiempo tiene una tendencia al cambio que se compone de la condición intrínseca de la celda y del efecto de las celdas de las cercanías. Así será más factible que cambie a cultivo, por ejemplo, si en su vecindad inmediata se encuentran celdas en esa condición de uso.

Para la definición de los parámetros e índices que se han empleado en el modelo, se recurrió a una evaluación del tipo multicriterio - multiobjetivo, aplicada a un grupo de agentes del desarrollo regional, incluyendo funcionarios del Gobierno Regional, de los municipios y representantes de los empresarios, grandes y pequeños.

Ese mismo ejercicio permitió identificar las tendencias regionales de desarrollo y las perspectivas que se han incorporado a los planes de desarrollo regional y comunal. Esto se traduce en una estimación de la demanda por tierras para el establecimiento de nuevos usos o la ampliación de los ya existentes. Para este caso se supuso un crecimiento demográfico sostenido a tasas anuales, que representen el ritmo que ha presentado la Región en las últimas décadas.

## RESULTADOS

Con el propósito de definir las condiciones de aptitud del territorio en estudio para soportar los tipos de uso del suelo que se someten a prueba en el modelo, se generaron, a partir de información contenida en la base cartográfica del SIG, un conjunto de mapas de restricción de uso. El modelo exige la conceptualización de la aptitud, en términos de restricciones al uso, puesto que de esa forma se deja fuera del análisis, de forma inmediata, toda la superficie que presenta altos niveles de limitación para el uso en cuestión.

Para la definición de los citados mapas, que se presentan en las figuras 7, 8, 9 y 10, se combinó información de uso actual, clima, relieve, pendiente, exposición, suelos, distancia a caminos y distancia a centros poblados. Para el procedimiento se aplicó el módulo de toma de decisiones del IDRISI. Los pesos ponderados que se otorgaron a las diferentes capas de información, se obtuvieron del análisis multicriterio - multiobjetivo, realizado con los actores económicos representativos del ámbito regional.

Los mapas están expresados en una escala de 1 a 10, siendo 1 la máxima restricción y 10 la máxima aptitud. Del análisis de esta información, puede apreciarse la reducida superficie con aptitud para cultivos (entendiendo que se trata sólo de aquellos cultivos agrícolas posibles de producir en las condiciones agroclimáticas locales), la que se concentra en los valles y en los suelos de las planicies orientales. La mayor superficie en cambio las presentan los suelos con aptitudes de tipo ganadero y forestal (sin distinguir en este último caso entre bosques de protección y de producción).

La situación de inicio está representada por el mapa de uso actual (Figura 11). Este mapa es el que se ingresa al modelo autómata celular, para ser sometido al modelamiento mediante la aplicación de las reglas que rigen los cambios de uso. El mapa contiene dos tipos de cobertura superficial: i) un primer tipo de carácter variable, constituida por los usos de cultivos, praderas, montes y bosques, que junto con las tierras sin uso actual o vacantes, corresponden a los usos que pueden estar sujetos a cambio; ii) un segundo tipo es de carácter invariable, constituido por la superficie sobre el límite vegetacional, los lagos y glaciares y las tierras afectadas por regímenes de protección (SNASPE).

Producto de la aplicación del modelamiento definido se obtuvo el mapa de la figura 12, que representa la distribución que resultara de una evolución de 30 años, siguiendo las mismas reglas de transición a lo largo del periodo.

Los cambios que se pueden identificar entre ambas condiciones (tiempo = 0 y tiempo = 0 +30), se muestran gráficamente en el mapa de la figura 13. De la observación de este mapa se puede apreciar como el cambio hacia cultivos y hacia praderas, compromete preferencial o exclusivamente, a tierras que se encuentran en el fondo de los principales valles, próximas a las vías de comunicación y sobretodo en el sector oriental del área de estudio. El cuadro 1 presenta una comparación de las superficies de los diferentes usos, en los dos momentos de tiempo analizados.

Dadas las condiciones y los supuestos del modelo, es posible esperar un incremento de las superficies dedicadas a los cultivos y a las praderas, en el área de estudio, junto a un aumento de la superficie cubierta por montes. Estos crecimientos en superficie se operarían a expensas de las superficies sin uso actual y de las superficies cubiertas por bosques.

Aprovechando una de las facilidades que otorga el modelo de autómata celular, es posible espacializar estas situaciones, de manera de identificar la localización de las áreas que estarían afectadas por estos procesos de cambio. Esta situación que se presenta en el mapa de la figura 14 que muestra la distribución de las tierras que después de 30 años presentarían una nueva condición de uso, tierras que se encontraban en un determinado uso, pero que han cambiado en los 30 años de evolución modelada. En este caso es importante destacar la importante incorporación de tierras que se encontraban en condición de sin uso, especialmente en el sector nor occidental del área. Esta situación es particularmente interesante desde el punto de vista del método aplicado, puesto que se trata del sector que se verá más impactado por la construcción de un camino transversal, que hará posible su conexión por vía carretera, al resto del sistema vial interregional.

## CONCLUSIONES

De la aplicación de este modelo de análisis es posible concluir que resulta útil para los propósitos de proyectar situaciones actuales, hacia un futuro, en función de reglas de relación entre los componentes de un sistema territorial complejo. El territorio como sistema, está integrado por un subsistema natural y un subsistema económico social, el que a su vez integra elementos demográficos, económicos, culturales y valóricos. El procedimiento acometido a prueba en este trabajo permite justamente, rescatar las complejas relaciones que se producen entre estos subsistemas y expresarlas espacialmente.

Si bien el modelo debería ser sometido a una serie de ajustes y correcciones, de manera de dar mejor cuenta de la realidad más probable, estimamos que ha logrado probar su aplicabilidad en una región concreta y en condiciones de alta incertidumbre. La incorporación de elementos provenientes de las características naturales del territorio (aptitudes) y del sistema socio económico (uso actual, valoraciones, toma de decisiones, criterios, opiniones, tendencias), ha permitido generar un escenario futuro de un aceptable grado de coherencia y que como tal puede considerarse como parte del futuro esperable.

## BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, J. 1996. The shifting stage of politics: New medieval and postmodern territorialities? *Environment and Planning D*. Vol.14 (2): 133 - 153.

BARRIOS, C. & ROVIRA, A. 1996. Medición de las dinámicas económicas en las comunas de la provincia de Palena y la Región de Aysén. *Anales de la Soc. Chilena de Ciencias Geográficas*. 1996: 99 - 105.

BENWELL, G. et al. 1995. Spatial analysis with artificial neural network. VIII Australian Intelligence Conference. Proceedings of the Workshop on AI and the environment. N.S.W. Australia.

BUDIC, Z.D. 1994. Effectiveness of geographical information systems in local planning. *Journal of the American Planning Association*. Vol. 60 (2): 244 - 263.

BULLEN, N.; JONES, K. & DUNCAN, C. 1997. Modeling complexity: Analyzing between-individual and between-place variation - a multilevel tutorial. *Environment and Planning A*. Vol. 29 (4): 585 - 609.

CREVOISIER, O. 1996. Proximity and territory versus space in regional science. *Environment and Planning A*. Vol. 28 (9): 1683- 1697.

DEMPSTER, B. 1996. Self-organizing systems, post-normal science and adaptive assessment: Conceptual links for practical application. Proc. Bi-annual Meeting of the International Society for Ecological Economics.

ENGELEN, G. et al. 1993. Vulnerability assessment of low-lying coastal areas and small islands to climate change and sea level rise. *Research Institute for Knowledge Systems*.

FRIEDMAN, J. 1992. Planificación para el siglo XXI: el desafío del postmodernismo. *Revista EURE*. Vol. 18 (55): 79-89.

GALLOPIN, G. 1996. Complexity and scenario building: Branching futures for the global systems. Proc. Bi-annual Meeting of the International Society for Ecological Economics.

GOULD, M.; JONES, K. & MOON, G. 1997. The scope of multilevel models. *Environment and Planning A*. Vol. 29 (4): 581 - 584.

HICKEY, R. & JANKOWSKI, P. 1997. GIS and environmental decisionmaking to aid smelter reclamation planning. *Environment and Planning A*. Vol. 29 (1): 5 - 19.

HOLT, A. & BENWELL, G. 1996. Case-based reasoning and spatial analysis. *Journal of URISA* Vol. 8 (1): 27-36.

JANKOWSKI, P. 1995. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *Int. J. Geographical Information Systems* Vol. 9 (3): 251 - 273.

KAY, J. 1996. The “new science” of complex systems, hierarchy theory, catastrophe theory, chaos theory, multi-attractor theory, and self-organization theory and the paradigm shift these entail. Bi-annual Meeting of the International Society for Ecological Economics.

LIRA, L. 1997. Información y conocimiento para el análisis regional conducente a la toma de decisiones. Serie Ensayos. Documento 97/38. ILPES. Santiago. 29.

PURVIS, M. et al. 1996. Connectionist-based methods for knowledge acquisition from spatial data. Proc. of Conference of Advanced Technology in the Environmental Field.

PURVIS, M. et al. 1997. Neuro-fuzzy methods for environmental modeling. Computer and Information Science. University of Otago, N. Zealand.

ROGERSON, R. 1994. Caos y ordenamiento ambiental del territorio. Seminario-Taller Nuevas herramientas para el ordenamiento ambiental del territorio. ICSED-FAO, Santiago, 20 - 22 de Junio de 1994.

WEIDLICH, W. & HAAG, G. 1987. A dynamic phase transition model for spatial agglomeration processes. Journal of Regional Science. Vol. 27 (4): 529 – 569

WHITE, R. & ENGELEN, G. 1993. Cellular automata and fractal urban form: a cellular modeling approach to the evolution of urban land-use patterns. Environmental Planning A. Vol. 25 (8): 1175 - 1199.

WHITE, R. & ENGELEN, G. 1994. Urban systems dynamics and cellular automata: Fractal structures between order and chaos. Chaos, Solitons & Fractals Vol. 4 (4): 563-583.

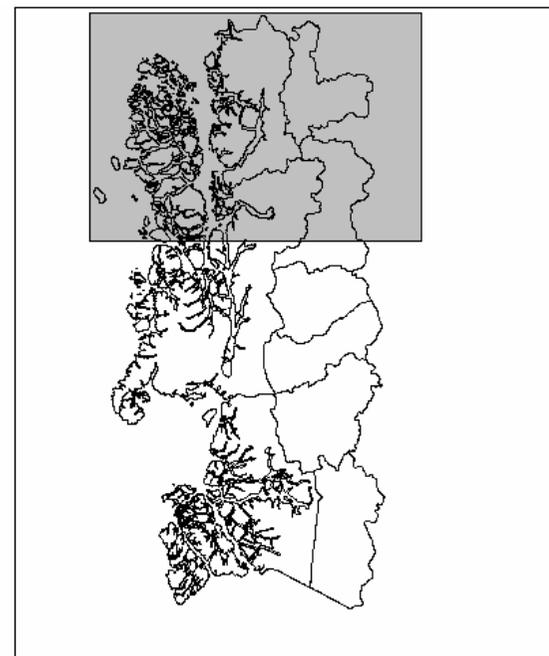
WHITE, R. & ENGELEN, G. 1994. Cellular dynamics and GIS: Modeling spatial complexity. Geographical Systems. Vol. 1: 237 - 253.

WHITE, R. & ENGELEN, G. 1997. Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modeling. Environmental Planning B. 24 (2): 235 - 246.

WHITE, R.; ENGELEN, G. & ULJEE, L. 1997. The use of constrained cellular automata for high-resolution modeling of urban land use dynamics. Environmental Planning B. Vol. 24 (3): 323 - 343.

YIN, Y. & XU, X. 1991. Applying neural net technology for multi-objective land use planning. Journal of Environmental Management Vol. 32 (4): 349 - 356.

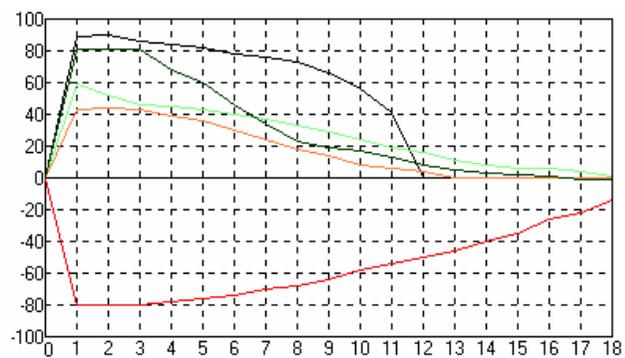
**Figura 1: Región de Aysén. Área de estudio.**



[Fuente: Elaboración Propia]

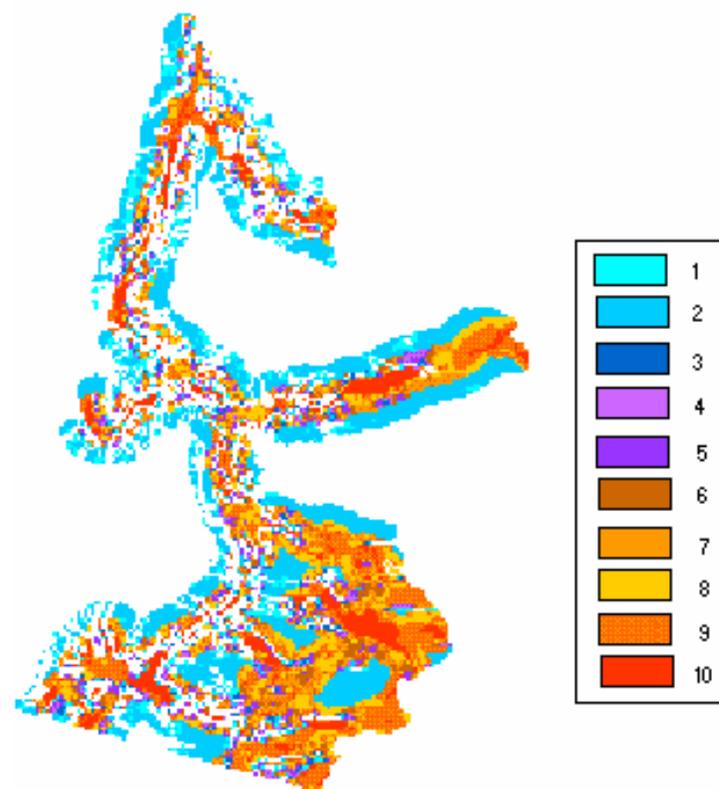


Figura 6: Influencia ejercida hacia el estado pradera desde todos los otros estados.



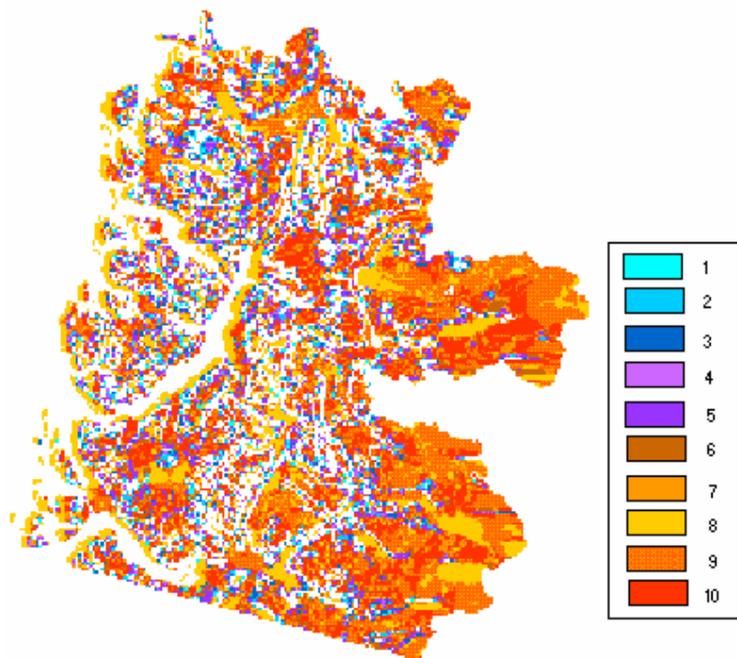
[Fuete: Elaboración Propia]

Figura 7: Restricción de uso para cultivos.



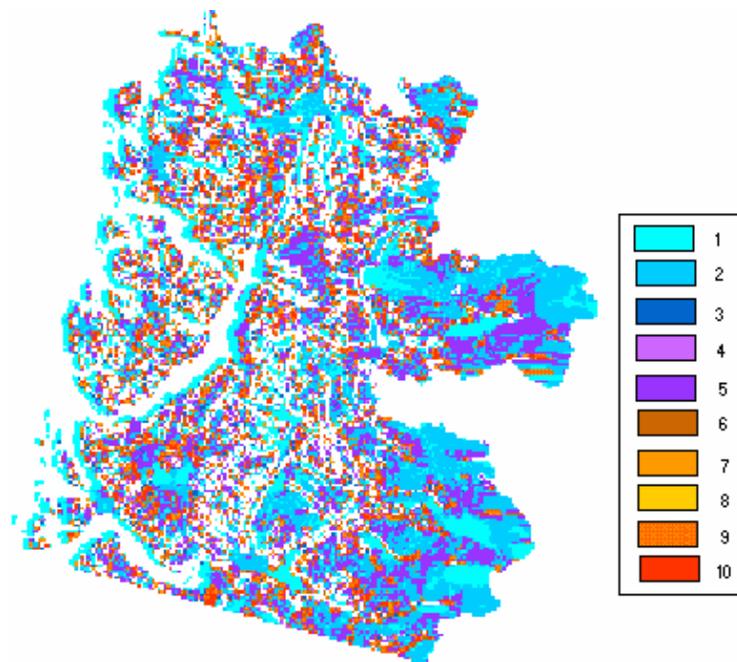
[Fuete: Elaboración Propia]

Figura 8: Restricción de uso para praderas.



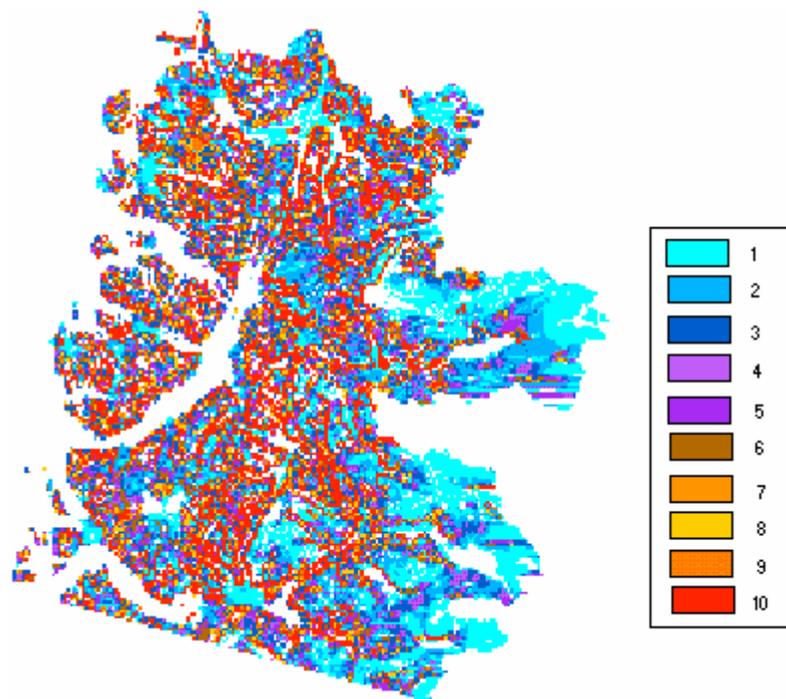
[Fuete: Elaboración Propia]

Figura 9: Restricción de uso para monte.



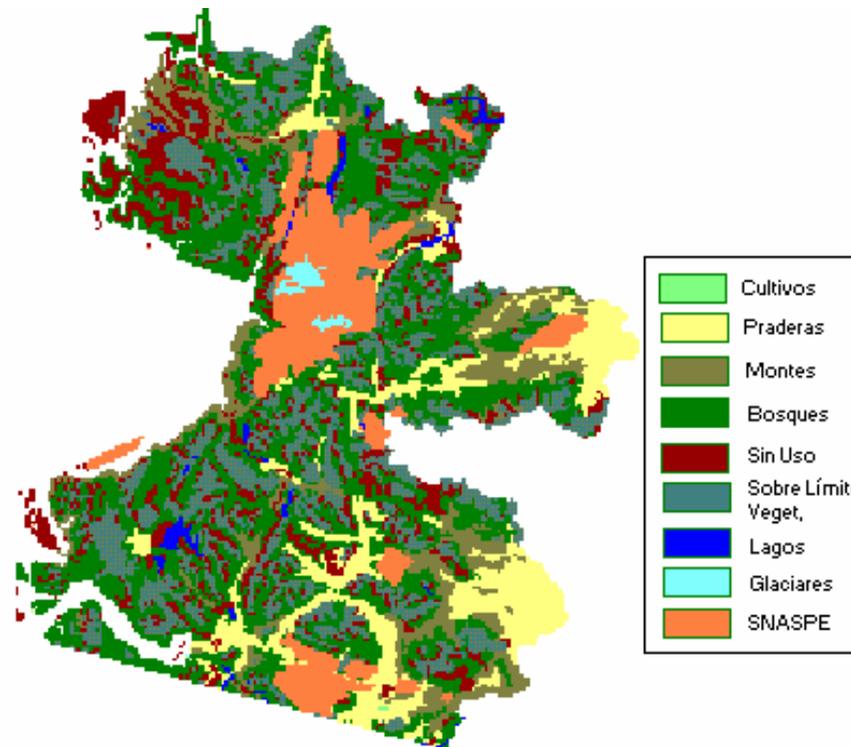
[Fuete: Elaboración Propia]

Figura 10: Restricción de uso para bosque.



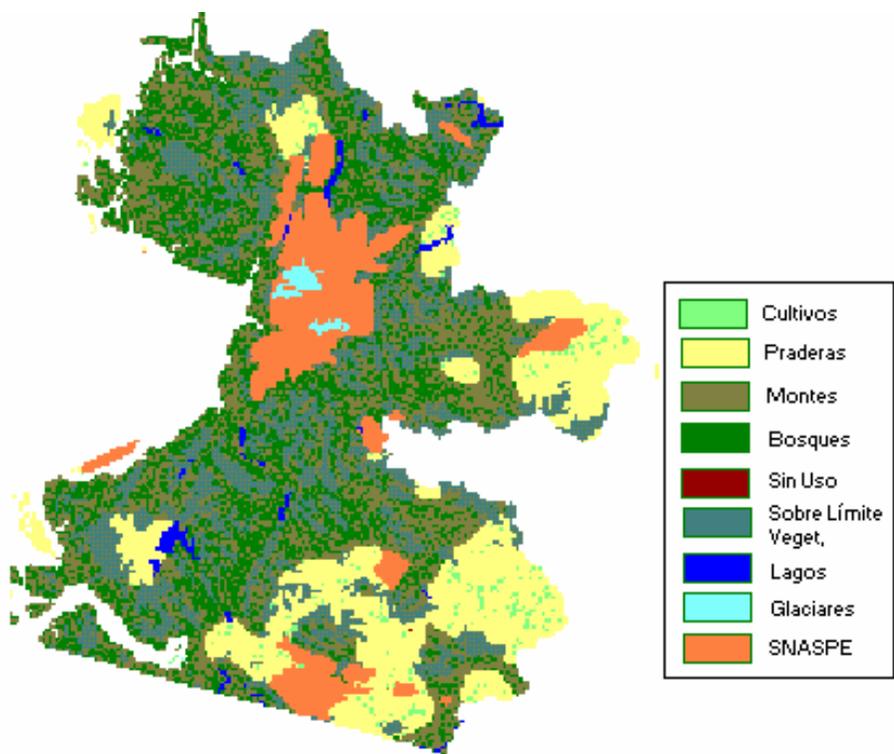
[Fuete: Elaboración Propia]

Figura 11: Uso actual del suelo (tiempo 0).



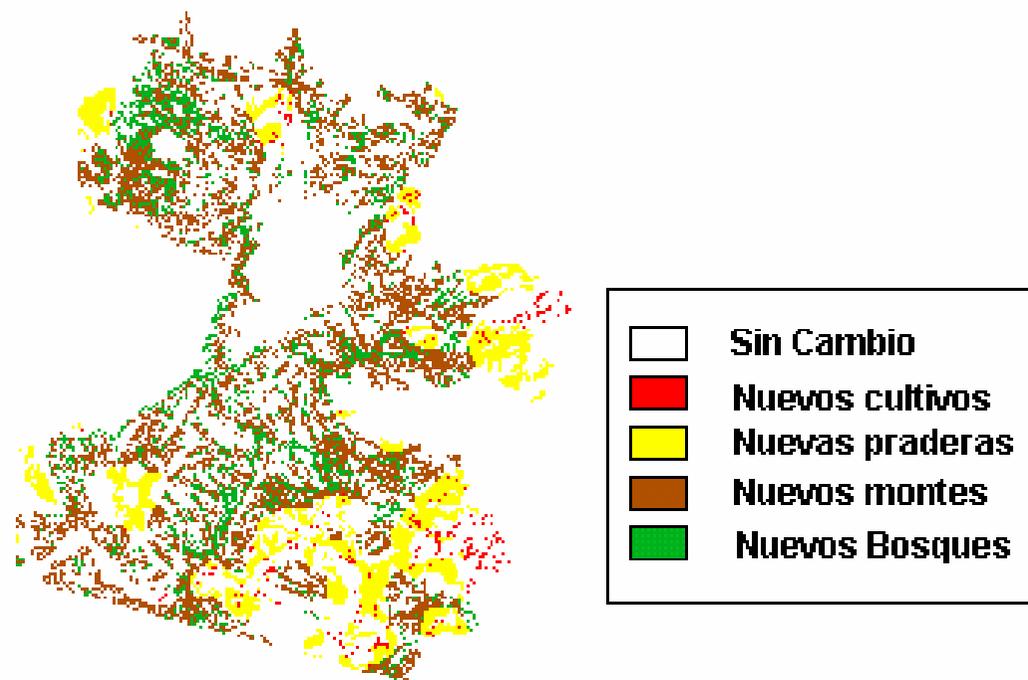
[Fuete: Elaboración Propia]

Figura 12: Uso del suelo simulado a 30 años (Tiempo 0 + 30).



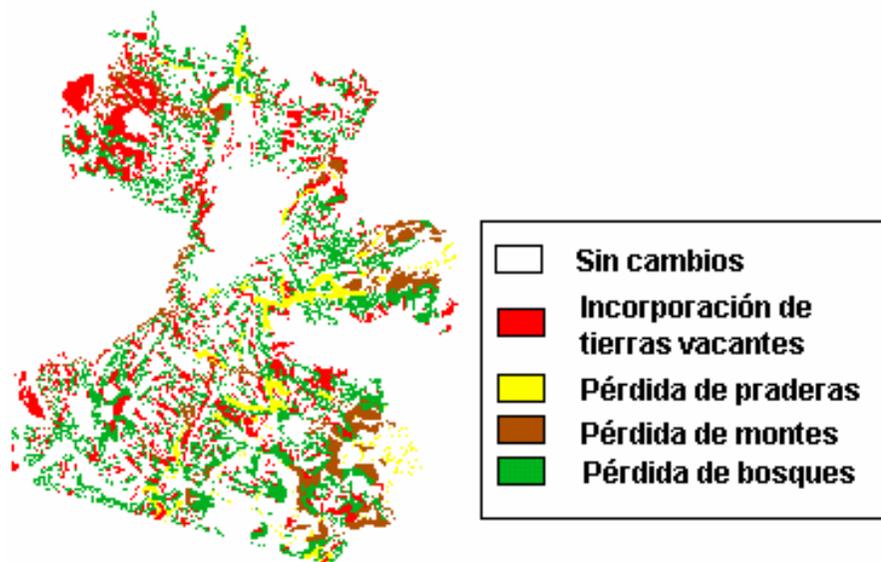
[Fuente: Elaboración Propia]

Figura 13: Incorporación de nuevas coberturas de uso del suelo.



[Fuente: Elaboración Propia]

Figura 14: Tierras afectadas por cambios después de 30 años.



[Fuente: Elaboración Propia]

Cuadro 1: Comparación de superficies según uso del suelo en el área de estudio.

Uso del suelo	Tiempo 0 (hás.)	Tiempo 0 + 30 años (hás.)
Sin uso	298.724	100
Cultivos	300	27.837
Praderas	284.457	437.311
Montes	226.488	583.581
Bosques	760.181	521.321
Sobre lím. vegetal	474.028	474.028
Lagos	26.240	26.240
Glaciares	12.272	12.272
SNASPE	242.052	242.052

[Fuente: Elaboración propia a partir de datos de las figuras 11 y 12.]