



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE ECONOMÍA Y NEGOCIOS

ESCUELA DE ECONOMÍA Y ADMINISTRACIÓN

**APLICACIÓN DE AUTÓMATAS CELULARES EN LA PREDICCIÓN
DEL MOVIMIENTO DE PRECIOS DE BIENES RAICES**

**Seminario de título de Ingeniero Comercial
Mención Economía**

**Profesor guía: Antonino Parisi Fernández
Ph.D Finanzas y Economía**

Autor: Cristián Cavada Benech

Santiago de Chile

APLICACIÓN DE AUTÓMATAS CELULARES EN LA PREDICCIÓN DEL MOVIMIENTO DE PRECIOS DE BIENES RAICES

Cristián Cavada Benech

Profesor guía: Antonino Parisi Fernández. Ph.D

Resumen

Este trabajo busca comprobar que existe un contagio de expectativas de los inversionistas que participan en el mercado de bienes raíces. Para esto, se utiliza la metodología de autómatas celulares dada su buena capacidad para modelar el comportamiento de sistemas complejos. De esta forma, se busca encontrar un porcentaje significativo (sobre 60%) de aciertos en la predicción de la dirección de las variaciones en los precios, utilizando solamente como variables explicativas los estados del periodo anterior, los que son sometidos a una función de influencia de las comunas vecinas. Se utilizaron variaciones mensuales del valor promedio del metro cuadrado correspondientes a departamentos de 9 comunas de Santiago. De los resultados, destacan las comunas de Ñuñoa y Maipú, las cuáles obtuvieron un porcentaje de efectividad en la predicción superior al 60% indicando que existe evidencia de contagio de expectativas en el mercado de bienes raíces que puede ser modelado por Autómatas Celulares.

Palabras claves: Autómatas Celulares, Sistemas complejos adaptativos, Bienes raíces, Contagio de expectativas, Porcentaje de predicción de signo.

Dedicado a mi familia por el apoyo incondicional que me han entregado durante toda mi vida, a la memoria de Maria López que fue una abuelita excepcional y ejemplo de vida y a Natalie d'Alencon por su amistad, amor y por hacer mis días cada vez más felices.

Índice

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | Introducción..... | 3 |
| 2. | Marco Teórico..... | 6 |
| 2.1. | Sistemas Complejos Adaptativos..... | 6 |
| 2.2. | Autómatas Celulares..... | 7 |
| 3. | Datos y Metodología..... | 10 |
| 3.1 . | Hipótesis..... | 10 |
| 3.2 . | Diseño de Autómatas Celulares..... | 11 |
| 3.2.1 | Diseño de las Células..... | 11 |
| 3.2.2 | Diseño de la Vecindad..... | 12 |
| 3.2.3 | Diseño de los Estados..... | 12 |
| 3.2.4 | Diseño de la Función de Contagio o Influencia..... | 13 |
| 3.3 . | Cálculo de la Predicción del Estado Próximo..... | 15 |
| 3.4 . | Aplicación y Procedimiento..... | 15 |
| 4. | Análisis de Resultados..... | 18 |
| 5. | Conclusiones..... | 20 |
| 6. | Bibliografía..... | 21 |
| 7. | Anexos..... | 22 |

1. Introducción

Este trabajo trata acerca del uso de la metodología de Autómatas Celulares para modelar y predecir la dirección del movimiento del valor promedio por metro cuadrado de departamentos de algunas comunas del Gran Santiago.

El mercado de los bienes raíces representa un instrumento de inversión viable para obtener ganancias. No obstante, el problema que se puede generar en este mercado es la poca liquidez que presentan los bienes raíces. Sin embargo, considerando un periodo de tiempo largo, esa falta de liquidez no debe interferir en obtener buenos retornos a largo plazo.

La metodología de Autómatas Celulares creada en la década del 40 por John Von Neuman y Stanislaw Ulam, se caracteriza por tener buena capacidad para representar y modelar sistemas complejos. De lo anterior y considerando que los inversionistas que participan en el mercado de bienes raíces son sistemas complejos adaptativos, los que van actualizando e incorporando nueva información y de este modo van adaptando su esquema y estructura de toma de decisiones, es que la aplicación de Autómatas Celulares debiera generar buenos resultados en la modelación de las variaciones de precios en el mercado de bienes raíces.

En otros trabajos, se puede ver que la aplicación de Autómatas Celulares ha entregado buenos resultados en la modelación de procesos complejos, como es el caso de del crecimiento urbano¹, obteniendo mejores resultados que las metodologías convencionales en esa área.

También se ha visto la aplicación de esta metodología en el campo de las finanzas. Particularmente en el campo de las inversiones de renta variable² (Acciones de empresas), entregando mejores predicciones y rentabilidades superiores que las entregadas por estrategias ingenuas.

¹ Véase F. Aguilera, “Predicción del Crecimiento Urbano Mediante Sistemas de Información Geográfica y Modelos Basados en Autómatas Celulares”.

² Véase Parisi F., A. Parisi (2006) “Autómatas Celulares en Índices Bursátiles de América del Norte: IPC, TSE, NASDAQ, DJI”. El Trimestre Económico, México 2006.

De lo anterior, nace la intuición de la aplicación de Autómatas Celulares al mercado de bienes raíces, ya que tanto la oferta como la demanda de este mercado está determinado por decisiones tomadas por personas (inversionistas), lo que podría significar que los cambios en el valor promedio del metro cuadrado de los departamentos estarían obedeciendo a una estructura compleja adaptativa³, similar a lo que ocurre en el mercado de renta variable.

Así, esta investigación busca obtener consistentemente un resultado que ratifique la efectividad de la aplicación de Autómatas Celulares en sistemas adaptativos complejos, aplicándolo esta vez al mercado de bienes raíces.

En este trabajo se utilizan datos mensuales de un periodo de tiempo comprendido desde marzo de 1997 hasta Abril del 2000. Estos datos fueron obtenidos desde la Cámara Chilena de la Construcción⁴ y corresponden al valor promedio de oferta del metro cuadrado de departamentos de las comunas de Providencia, Las Condes, Vitacura, Ñuñoa, Santiago, San Miguel, La Florida, Maipú y La Reina pertenecientes al Gran Santiago. Estos datos son sometidos a la metodología de Autómatas Celulares, donde cada comuna representa una célula. Luego, cada célula es sometida a una función de transición o influencia la que incorpora los estados de las células vecinas y sus respectivas correlaciones. Esta función busca reflejar el contagio ocurrido entre las células y de esa forma obtener la predicción del estado siguiente para cada comuna.

Luego, las predicciones son contrastadas con las variaciones reales observadas, calculando para cada comuna el porcentaje de predicción de signo (PPS). El PPS es el porcentaje de aciertos en la dirección del movimiento de los precios ocurridos durante el periodo. Para efectos de este trabajo se consideró como indicador significativo un PPS igual o superior al 60%. Además, se calculó el Test de Acierto Direccional de Pesaran y Timmermann⁵ para entregar un indicador de significancia estadística.

³ En este trabajo, los inversionistas son considerados sistemas complejos adaptativos.

⁴ Asociación gremial de empresarios cuya principal finalidad es promover la industria de la construcción. La misión de la Cámara Chilena de la Construcción es contribuir al bienestar de las personas mediante el desarrollo y perfeccionamiento del sector construcción. Promueve el uso eficiente de los recursos en los aspectos gremiales, sociales y económicos dentro de un estricto marco ético.

⁵ Véase, Pesaran, M. H. y Timmermann A. (1992). "A simple nonparametric test of predictive performance". *Journal of Business and Economic Statistics* 10, 461-465.

En la segunda parte, se presenta un marco teórico y descriptivo acerca de los sistemas complejos adaptativos y de la metodología de Autómatas Celulares. En la tercera parte se describen los datos empleados, la hipótesis y la metodología aplicada en este trabajo, especificando el diseño y características de los autómatas utilizados. En la cuarta parte se analizan los resultados obtenidos. Finalmente, en la quinta parte se plantean las conclusiones de este trabajo y algunas observaciones.

2. Marco teórico

Antes de continuar, es necesario tener claro algunos conceptos y definiciones para así entender de mejor forma la metodología y los resultados.

2.1. Sistemas complejos adaptativos

En este trabajo se entiende como un sistema complejo adaptativo a aquél que basa su actuar futuro de acuerdo a la información que adquiere de su entorno y de las regularidades que ha identificado de la interacción de él con su entorno. De esta definición, podemos notar que cada uno de nosotros es un sistema complejo adaptativo. Esto por que en nuestro diario vivir vamos interactuando con nuestro medio, amigos, conocidos, familiares, comunidad, etc. Y obtenemos información que vamos considerando e incorporando para así formar un esquema que nos permite realizar nuestras propias predicciones y creencias sobre el mundo real. Luego, en el periodo siguiente podemos evaluar nuestras predicciones contrastándolas con la realidad observada y así revisamos el esquema que nos llevó a generar esas predicciones y modificamos este esquema en función de nuestra propia evaluación. De esta forma, los sistemas complejos adaptativos van actualizando y retroalimentando sus esquemas de acuerdo a lo obtenido por el medio en que están.

En la medida que varios sistemas complejos adaptativos interactúan en una comunidad, estos entran en competencia afectando y retroalimentando los esquemas de los demás.

La consideración principal para aplicar la metodología de Autómatas Celulares, es la creencia que el cambio en los precios de oferta del mercado de bienes raíces se explicaría en gran parte a los cambios en las expectativas que poseen los inversionistas del sector, y que estas expectativas, tienen como principal insumo la información obtenida de la interacción con el medio. De esta forma, se pueden construir Autómatas Celulares que capturen el contagio de expectativas en este mercado.

2.2. Autómatas Celulares

Los Autómatas Celulares fueron diseñados por John Von Neuman y Stanislaw Ulam en los años 40. Desde su creación los Autómatas Celulares han sido estudiados demostrando su importancia y transversalidad en distintas áreas de estudio, por lo que son de interés en diferentes disciplinas.

Los Autómatas Celulares se pueden definir como un sistema dinámico formado por un conjunto de elementos sencillos idénticos entre sí, pero que en conjunto son capaces de demostrar comportamientos complejos globales⁶.

Acerca de la estructura que poseen los Autómatas Celulares resaltan ciertamente algunos componentes básicos⁷.

- Un plano bidimensional o un espacio n-dimensional dividido en un número de subespacios homogéneos, conocidos como celdas. La homogeneidad establece que todas las celdas utilizan la misma regla de actualización.
- Cada celda puede estar en uno de un conjunto finito de estados.
- Una vecindad definida para cada celda, la que consiste en un conjunto contiguo de celdas. De esto se desprende la condición de localidad, la que se refiere a que las células solo capturan información de sus vecinas.
- Una regla de evolución, la cual define el estado de cada celda dependiendo del estado inmediatamente anterior de su vecindad. Esta evolución es determinada por una función matemática que captura la influencia de la vecindad sobre la celda en cuestión.
- Un Reloj Virtual de Cómputo, el cual generará "tics" o pulsos simultáneos a todas las celdas indicando que debe aplicarse la regla de evolución donde cada celda cambiará o mantendrá su estado. Este componente hace que se cumpla la

⁶Véase, Wolfram, S.(1984) "Cellular automata as model of complexity", Nature, 311, pp. 419-424.

⁷Véase, Aguilera, F.(2006) "Predicción del Crecimiento Urbano Mediante Sistemas de Información Geográfica y Modelos Basados en Autómatas Celulares".

condición de paralelismo, la cual significa que todas las células son actualizadas al mismo tiempo.

De esta forma, los Autómatas Celulares tienen la característica de permitir evaluar la evolución de una colonia dado que permiten calcular o predecir el estado del periodo siguiente a partir de su estado actual, considerando el nivel actual de influencia entre los componentes de la colonia. Principalmente es por esta característica que los Autómatas Celulares son efectivos al momento de simular sistemas adaptativos complejos.

Sin embargo, los Autómatas Celulares no sólo son utilizados para la simulación de sistemas adaptativos, si no que también son utilizados como una alternativa al enfoque tradicional de expresión de los sistemas mediante las ecuaciones diferenciales que describen el comportamiento de sus variables, incluso en algunos trabajos se ha propuesto su uso como herramienta para la solución de las ecuaciones asociadas a ciertos sistemas⁸, además de otros usos.

Entonces, en términos generales, tenemos que los Autómatas Celulares pueden ser descritos como una estructura de células o "entes" comunicados entre sí de forma regular de manera que el comportamiento de cada uno está afectado por el de sus vecinos.

Quedando clara la definición de los Autómatas Celulares, se puede ahora pasar a revisar algunos ejemplos de Autómatas conocidos.

Un caso conocido de Autómata Celular Unidimensional es la "punta de flecha de Sierpinski". En este caso, el autómata cuenta con una vecindad compuesta por los dos vecinos más próximos y código decimal de función de transición 90⁹.

Otro caso conocido es el autómata denominado como el juego de la vida de Conway¹⁰. El cual es un autómata celular cuya rejilla es una matriz bidimensional infinita. La

⁸ Boon, J.P, Dab, D. Kapral, R. Lawniczak, A. "Lattice Gas Automata for Reactive Systems". *Physics Reports* 273, pp. 55-147, 1996.

⁹ La codificación decimal 90 es la binaria 01011010. Tras las 24 primeras generaciones se puede identificar la punta de flecha de Sierpinski.

evolución de este autómata está determinada por el estado inicial o configuración y no necesita ninguna entrada de datos posterior. Los vecinos que influyen en cada autómata son los 8 que lo rodean. Cada autómata individual puede tener valor 0 o 1. La función de transición está especificada de la siguiente forma:

- Un autómata en estado 0 cambia a 1 (nacimient) si 3 de sus vecinos están en 1, en otro caso sigue en 0.
- Un autómata en estado 1 sigue en estado 1 si 2 o 3 de sus vecinos están en estado 1.

Donde, si el estado cambio de 1 a 0, significa muerte, si cambia de 0 a 1, significa nacimiento, si se mantiene en 1 significa que sigue con vida y si se mantiene en 0 sigue muerto.

¹⁰ Véase, Conway, J.H., Berlekamp, E.R., Guy, R. K.(1983) “*Winnings ways for your mathematical plays*”. New York. Academic Press, Vol 2, Cap. 25

3. Datos y Metodología

Los datos utilizados en este trabajo corresponden al valor promedio de oferta del metro cuadrado correspondiente a departamentos de las Comunas de Providencia, Las Condes, Vitacura, Ñuñoa, Santiago, San Miguel, La Florida, Maipú y La Reina.

Estos datos fueron entregados por la Cámara Chilena de la Construcción para efectos de este trabajo y constan de observaciones mensuales comprendidas entre Marzo del Año 1997 y Abril del 2000, lo que nos da un total de 38 observaciones. El valor promedio del metro cuadrado correspondiente a departamentos de la comuna i es obtenido de la siguiente forma:

$$VP_i = \frac{UF_i}{M_i^2}$$

Donde,

UF_i : Corresponde al valor promedio en UF de todas las ofertas realizadas en la Comuna i para el periodo de tiempo considerado.

M_i^2 : Corresponde al promedio de Metros cuadrados que están en Oferta en la Comuna i para el periodo de tiempo considerado.

Luego, lo que nos interesa a nosotros es modelar la evolución de este valor promedio. Para esto, fue necesario calcular la variación porcentual mes a mes de este indicador, por lo que perdemos una observación, quedando una muestra final de 37 variaciones mensuales.

3.1 Hipótesis

El punto de partida para la formulación de la hipótesis de este trabajo, es la consideración que los agentes que intervienen en el mercado de bienes raíces son sistemas complejos adaptativos. De esta forma, cada agente va actualizando y

retroalimentando su esquema de toma de decisiones a partir de la información que va obteniendo del mercado y otros agentes. Por lo tanto, cambios en el mercado serán incorporados por los agentes participantes ocasionando cierta influencia a través del contagio de expectativas.

Entonces, podemos plantear que dado que los precios de los bienes raíces son fijados por agentes, y son aceptados y pagados por estos, los que a su vez son sistemas complejos adaptativos, la aplicación de Autómatas Celulares a una muestra representativa entregaría evidencia de la existencia de cierto contagio que explicaría en parte la variación de los precios y valoración de los bienes raíces.

Las condiciones que se plantean para aceptar esta hipótesis son las siguientes:

- El indicador de porcentaje de predicción de signo (PPS) debe ser mayor o igual al 60%.
- El PPS calculado debe cumplir algún criterio de significancia estadística. Para esto será considerado como test de significancia el Test de Acierto Direccional planteado por Pesaran y Timmermann¹¹.

3.2 Diseño de los Autómatas Celulares

Para diseñar cada Autómata se requiere definir la naturaleza de sus células, la vecindad, los estados y la regla de migración.

3.2.1 Diseño de las Células

Las células corresponden a comunas del Gran Santiago: Providencia, Las Condes, Vitacura, Ñuñoa, Santiago, San Miguel, La Florida, Maipú y La Reina. En el Anexo 1 se entrega un mapa de la ubicación de estas comunas en la ciudad de Santiago.

¹¹ Véase, Pesaran, M. H. y Timmermann A. (1992). "A simple nonparametric test of predictive performance". *Journal of Business and Economic Statistics* 10, 461-465.

En este trabajo sólo se consideró el nombre de la comuna como diferenciación de las células, no tomando en cuenta otros atributos como distancia geográfica o su ubicación¹² (Norte, Sur, Oriente y Poniente).

3.2.2 Diseño de la Vecindad.

La vecindad para cada comuna (o célula) está definida como el conjunto de las comunas (o células) restantes. Es decir, todas las comunas son vecinas de todas y por lo tanto, todas ejercerán influencia. La distancia, y por ende la influencia, entre las comunas está determinada por la correlación entre estas. Por lo tanto, tenemos 9 vecindades que contienen las mismas comunas pero que están distribuidas de diferente forma de acuerdo a sus correlaciones. El Anexo 2 muestra la matriz de los coeficientes de correlación correspondientes.

3.2.3 Diseño de los Estados.

De las 38 observaciones que componen la muestra, se obtuvieron 37 variaciones porcentuales las que son transformadas a "estados" definidos de la siguiente manera:

- Si la diferencia porcentual es mayor que cero, entonces el estado correspondiente será +1. Lo que indica que el valor promedio del metro cuadrado ha subido para ese mes con respecto del anterior.
- Si la diferencia porcentual es menor que cero, entonces el estado correspondiente será -1. Lo que indica que el valor promedio del metro cuadrado ha caído para ese mes con respecto del anterior.
- Si la diferencia porcentual es igual que cero, entonces el estado correspondiente será 0. Lo que indica que el valor promedio del metro cuadrado no ha variado para ese mes con respecto del anterior.

¹² Además de estos atributos, se pueden considerar características del departamento, como número de piezas, baños, pisos, etc. Sin embargo, por simplicidad y por la restricción de la base de datos obtenida, estos atributos no fueron considerados.

El Anexo 3 muestra el detalle de los estados para los primeros 13 meses.

Así, el objetivo del autómata es estimar si el valor promedio del metro cuadrado de los departamentos para cada comuna subirá, se mantendrá o bien bajará¹³.

3.2.4 Diseño de la Función de Contagio o Influencia.

En este trabajo se propone que el efecto contagio que se produce sobre una célula C_i se debe a la influencia que las otras células pueden ejercer sobre esta. El efecto de la influencia se aplica de forma agregada sobre la célula en cuestión. Es decir, los estados de las restantes células ejercerán una influencia combinada sobre el estado actual de la célula C_i generando o no un cambio en el estado de la célula.

La influencia generada por las células es representada por una función matemática de modo que todas las células ejercerán influencia sobre las demás, sólo que algunas ejercerán mayor influencia que otras¹⁴.

Como se mencionó anteriormente, la distancia considerada entre las comunas no es considerada de forma geográfica, si no que corresponde a la correlación existente entre una y otra. Es decir, comunas que tengan mayor correlación, serán consideradas más cercanas y por lo tanto tendrá una mayor influencia que otra comuna con una correlación menor.

En diseño de la función de transición se consideró que la influencia no decae de forma lineal, si no que más bien es de forma no lineal del tipo e^{-n} , considerando que la influencia va decayendo en una proporción mayor a medida que la correlación va disminuyendo.

De lo anterior, se deriva el supuesto de Bi-direccionalidad. Esto quiere decir que la influencia entre las comunas será recíproca.

¹³ El periodo de tiempo de las variaciones son mensuales. Por lo tanto, si hablamos de un aumento del precio promedio del metro cuadrado, se referirá a un cambio mensual.

¹⁴ La diferencia de las influencias queda determinada por la distancia entre las células, la que es medida por las diferencias de las correlaciones.

Por lo tanto, ahora podemos ver que la influencia ejercida por la célula C_j sobre la célula C_i es la siguiente:

$$I_{ij} = e^{-|1-\rho_{ij}|} \cdot S_j$$

Donde,

ρ_{ij} : Es la correlación entre la célula C_i y C_j .

S_j : Es el estado actual de la célula C_j .

De esta forma, sólo se considera la correlación entre las células como el único atributo determinante del nivel de influencia.

Así, la influencia total sobre la célula C_i debido a los estados actuales de todas las otras células, se describe por la expresión:

$$I_i^{Total} = \sum_{j \neq i}^n (e^{-|1-\rho_{ij}|} \cdot S_j)$$

La métrica que se ha utilizado es la diferencia entre la correlación y la unidad. Esto para considerar cuán alejado se ésta de una situación de correlación perfecta (correlación = 1). Así, para una célula que tenga correlación perfecta de 1, ejercerá una influencia completa sobre la célula afectada. En el Anexo 4 se muestra la tabla con las Influencias respectivas por comuna.

Ahora que ya está especificada la forma en que los estados de las células vecinas afectan el estado actual de la célula en cuestión, se puede definir la estimación o cálculo del estado próximo.

3.3 Cálculo de la predicción del estado próximo.

Dada la función influencia antes descrita, consideraremos la siguiente regla de migración:

- Si la Influencia Total es mayor que cero, entonces la predicción para el estado futuro de la célula será +1, implicando que el valor promedio del metro cuadrado de esa comuna deberá aumentar.
- Si la Influencia Total es menor que cero, entonces la predicción para el estado futuro de la célula será -1, implicando que el valor promedio del metro cuadrado de esa comuna deberá disminuir.
- Si la Influencia Total es igual a cero producto de las compensaciones entre las distintas influencias, entonces la predicción del estado futuro de la célula será 0, implicando que el valor promedio del metro cuadrado de esa comuna no mostrará variaciones.

3.4 Aplicación y procedimiento.

Previo a la aplicación de esta metodología, es necesario definir un espacio intramuestral y otro extramuestral. Esto para que a partir del espacio intramuestral se definan las correlaciones y por ende la influencia, mientras que el espacio extramuestral sirve como espacio de control.

De esta forma, de los 37 estados observados con los que se cuenta, se consideró a los primeros 20 estados como intramuestral y los 17 siguientes como extramuestral¹⁵.

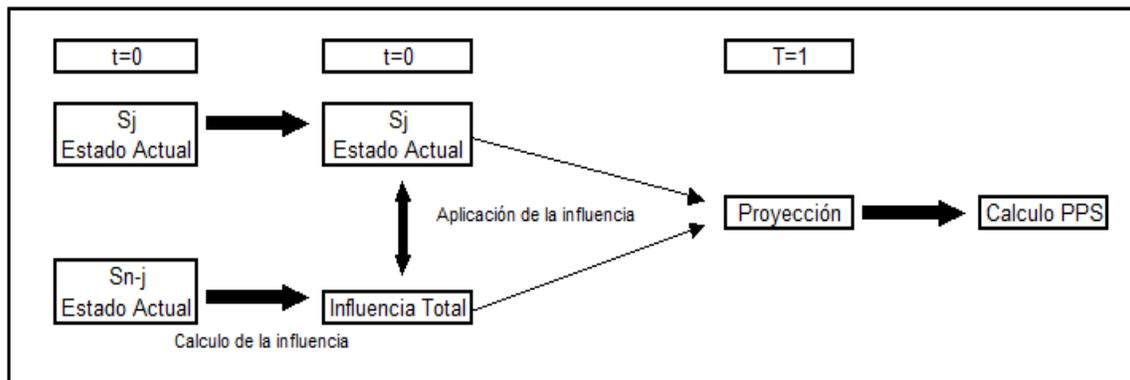
¹⁵ Entonces, las correlaciones utilizadas en la función influencia son obtenidas de las primeras 20 observaciones.

Luego de obtener las correlaciones, se calcula la función influencia y se aplica a cada estado, de modo que el agregado de influencias genere la predicción para el siguiente periodo de tiempo.

Una vez que se cuenta con todas las predicciones, estas deben ser evaluadas. Para esto se consideró el porcentaje de predicción de signo (PPS), es decir, se calculó el porcentaje de aciertos obtenidos en la predicción de la dirección del cambio de los estados.

El PPS se obtiene comprobando si el signo de la predicción es igual a la ocurrida realmente. Así, si la predicción tiene igual signo que lo observado, se asigna un 1, si no se acierta, se obtiene un 0. Luego, se calcula el porcentaje de aciertos del total de predicciones evaluadas.

Se consideró un porcentaje de 60% o superior como un valor significativo. A continuación se muestra un gráfico explicativo del proceso para una célula C_j :



Donde S_{n-j} representa los estados de todas las células distintas de C_j .

Después de este proceso, se calculó el test de Acierto Direccional (DA) propuesto por Pesaran y Timmermann, para así medir la significancia estadística de la capacidad predictiva de los Autómatas Celulares aplicados.

El test DA evalúa la hipótesis nula que las variaciones observadas están independientemente distribuidas de las variaciones proyectadas. Por lo tanto, si la hipótesis nula es rechazada, entonces se puede decir que existe evidencia estadística a favor de la capacidad predictiva del modelo sobre la variable observada.

4. Análisis de resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de los Autómatas Celulares anteriormente descritos. Los resultados se presentan por Comunas y con la especificación del resultado tanto Intramuestral como Extramuestral además del test DA aplicado a toda la muestra.

| Comuna | PPS Intramuestral | PPS Extramuestral | Desv. Est. | Test DA |
|--------------------|-------------------|-------------------|------------|---------|
| Providencia | 50% | 56% | 0,95% | -0,04 |
| Las Condes | 60% | 44% | 1,00% | 0,42 |
| Vitacura | 55% | 31% | 1,69% | -0,58 |
| Ñuñoa | 75% | 63% | 1,14% | 2,02 |
| Santiago | 40% | 44% | 0,97% | -1,27 |
| San Miguel | 45% | 50% | 1,51% | -0,12 |
| La Florida | 40% | 63% | 3,96% | 0,14 |
| Maipú | 60% | 63% | 1,96% | 1,29 |
| La Reina | 55% | 50% | 1,16% | 0,24 |

De estos resultados podemos destacar que los autómatas utilizados muestran una buena y significativa capacidad de predicción para el caso de Ñuñoa y Maipú, tanto en el espacio Intramuestral como Extramuestral. Esto significa que los cambios y nueva información capturadas por las comunas consideradas en la muestra sí ejercen una influencia significativa en los agentes que participan en el mercado de bienes raíces. Para el caso de Ñuñoa, el test DA rechaza la hipótesis nula considerando un 95% de significancia estadística. Por lo que estadísticamente el modelo sí presenta capacidad predictiva.

Para el resto de las comunas, los resultados no indican un efecto contagio fuerte, ya que no se obtienen buenos porcentajes de predicción de signo al basarnos sólo en las correlaciones y los estados de estas comunas. Sin embargo, esto no necesariamente rechaza la hipótesis de este trabajo, ya que no se cuenta actualmente con una base de datos completa y precisa, por lo que estos resultados podrían deberse a un problema por falta de datos más que en la metodología empleada. Los buenos resultados

obtenidos por Ñuñoa y Maipú hace pensar que en esta muestra si están incluidas comunas influyentes en su valoración, pero no necesariamente ocurre lo mismo para las demás comunas.

La efectividad de esta metodología tiene relación directa con el número de comunas en el mercado. Un bajo número de comunas consideradas podría no reflejar algún nivel de influencia entre agentes ya que podría no constituir un mercado para los inversionistas o agentes.

Otra posible explicación de la menor capacidad de predicción en las otras comunas, es que estas tengan menos liquidez o la composición de sus suelos se hayan modificado alterando la valoración por metro cuadrado promedio. En otras palabras, es posible que el cambio en la valoración del metro cuadrado se deba solamente a un cambio en la composición del suelo en la comuna y no efectivamente a un alza de precios en los bienes raíces de esa comuna. Por ejemplo, si en cierta comuna se construyen casas derribando edificios, la base del promedio podría cambiar sin que cambien los precios de los otros edificios.

Además, la función influencia utilizada no considera atributos que pueden especificar y precisar el contagio entre comunas.

5. Conclusiones

En este trabajo se analizó una muestra correspondiente a valor promedio de oferta por metro cuadrado construido en departamentos de las comunas de Providencia, Las Condes, Vitacura, Ñuñoa, Santiago, San Miguel, La Florida, Maipú y La Reina.

De la aplicación de Autómatas Celulares podemos destacar que para las comunas de Ñuñoa y Maipú, más del 60% de las variaciones se pueden explicar principalmente por efectos de contagio de expectativas representados por cambios en los estados del resto de las comunas. Sin embargo, este buen resultado no es a nivel agregado y para algunas comunas no hay evidencia de contagio. Esto último se puede deber a que no se consideran todas las comunas que componen Santiago, por lo que pueden existir influencias no tomadas en cuenta y que las comunas consideradas no sean suficientes para capturar el contagio de expectativas esperado. Otra explicación es que se puede deber por la composición del indicador de la valoración promedio del metro cuadrado, ya que es posible que el cambio en el indicador de valoración promedio se deba principalmente a cambios en la composición del Metro cuadrado en la comuna y no efectivamente a un alza de precios en los bienes raíces.

Dado todo lo anterior, podemos ver que existe evidencia de que la metodología de autómatas celulares es eficaz para la modelación de sistemas complejos adaptativos y que se puede aplicar al mercado de bienes raíces. Sin embargo, queda pendiente para trabajos futuros la consideración de una base de datos que involucre el total de comunas y un mayor número de observaciones.

6. Bibliografía

Aguilera Benavente, F. (2006). "Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en Autómatas Celulares", *GeoFocus (Artículos)*, nº 6, p. 81-112. ISSN: 1578-5157.

Barredo, J., Kasanko, M., McCormick, N., Lavallo, C. (2003). "Modeling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata". *Landscape and Urban Planning*, 64, pp. 145-160.

Boon, J.P, Dab, D. Kapral, R. Lawniczak, A. (1996). "Lattice Gas Automata for Reactive Systems". *Physics Reports* 273, pp. 55-147.

Brian, A.(1995). "Complexity in Economic and Financial Markets". *Journal Complexity*, vol 1, no. 1.

Conway, J.H., Berlekamp, E.R., Guy, R. K. (1983). "Winning ways for your mathematical plays". *New York. Academic Press, Vol 2, Cap. 25.*

Figueroa, E., Lever, G. (1992). "Determinantes del Precio de Mercado de los Terrenos en el Área Urbana de Santiago" *Cuadernos de Economía, Vol. 29, N° 86, pp. 99-114.*

Gell-Mann, M. (1994). "The Quark and the Jaguar Adventures in the Simple and the Complex". *Turquets editores isbn 84-7223-844-X.*

Johnson, N. I, Jefferies, P., Pak Ming, H. (2003). "Financial market Complexity" *Oxford University Press 2003 isbn 0-19- 852665-2.*

Mardones, C. (2006). "Impacto de la percepción de la calidad del aire sobre el precio de las viviendas en Concepción-Talcahuano". *Cuadernos de economía, vol. 43, pp. 301-329.*

Parisi, F., Parisi, A. (2006). "Autómatas Celulares en Índices Bursátiles de América del Norte: IPC, TSE, NASDAQ, DJI". *El Trimestre Económico, México 2006.*

Parisi, A. (2002). "Evaluación de modelos de Redes Neuronales de predicción del signo de la variación del IPSA". *Estudios de Administración, vol. 9, N°1, p.p. 67- 103. Chile.*

Pesaran, M. H. y Timmermann A. (1992). "A simple nonparametric test of predictive performance". *Journal of Business and Economic Statistics* 10, 461-465.

Pesaran, H.M., Timmermann, A. (1995). "Predictability of stock returns: Robustness and economic significance". *The Journal of Finance* . vol. 1, no 4.

Torrens, P. M. (2000). "How cellular models of urban systems work", *CASA working paper series*, n° 28.

Wolfram, S. (1984). "Cellular automata as model of complexity", *Nature*, 311, pp. 419-424.

7. Anexos

Anexo 1

Mapa de las Comunas de Santiago



Anexo 2

Tabla de Correlaciones

| | <i>Las</i> | | | | <i>San</i> | <i>La</i> | <i>La</i> | | |
|--------------------|--------------------|---------------|-----------------|--------------|---------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| | <i>Providencia</i> | <i>Condes</i> | <i>Vitacura</i> | <i>Ñuñoa</i> | <i>Centro</i> | <i>Miguel</i> | <i>Florida</i> | <i>Maipú</i> | <i>Reina</i> |
| <i>Providencia</i> | 1 | -0,350 | -0,112 | 0,196 | 0,096 | -0,069 | 0,108 | 0,350 | 0,048 |
| <i>Las Condes</i> | -0,350 | 1 | -0,232 | 0,241 | 0,020 | 0,138 | -0,103 | 0,022 | 0,361 |
| <i>Vitacura</i> | -0,112 | -0,232 | 1 | -0,223 | -0,151 | 0,099 | 0,186 | 0,104 | -0,700 |
| <i>Ñuñoa</i> | 0,196 | 0,241 | -0,223 | 1 | 0,296 | -0,088 | -0,131 | 0,098 | 0,285 |
| <i>Centro</i> | 0,096 | 0,020 | -0,151 | 0,296 | 1 | 0,157 | -0,253 | 0,128 | -0,102 |
| <i>San Miguel</i> | -0,069 | 0,138 | 0,099 | -0,088 | 0,157 | 1 | 0,141 | 0,034 | 0,010 |
| <i>La Florida</i> | 0,108 | -0,103 | 0,186 | -0,131 | -0,253 | 0,141 | 1 | -0,301 | 0,003 |
| <i>Maipú</i> | 0,350 | 0,022 | 0,104 | 0,098 | 0,128 | 0,034 | -0,301 | 1 | -0,060 |
| <i>La Reina</i> | 0,048 | 0,361 | -0,700 | 0,285 | -0,102 | 0,010 | 0,003 | -0,060 | 1 |

Anexo 3

Ejemplo de Estados Observados por Comuna

| | <i>Las</i> | | | | <i>San</i> | <i>La</i> | <i>La</i> | | |
|---------------|--------------------|---------------|-----------------|--------------|---------------|---------------|----------------|--------------|--------------|
| | <i>Providencia</i> | <i>Condes</i> | <i>Vitacura</i> | <i>Ñuñoa</i> | <i>Centro</i> | <i>Miguel</i> | <i>Florida</i> | <i>Maipú</i> | <i>Reina</i> |
| <i>Abr'97</i> | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>May</i> | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Jun</i> | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 |
| <i>Jul</i> | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Ago</i> | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 |
| <i>Sep</i> | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 |
| <i>Oct</i> | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 |
| <i>Nov</i> | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 |
| <i>Dic</i> | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Ene'98</i> | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 |
| <i>Feb</i> | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 |
| <i>Mar</i> | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 |
| <i>Abr</i> | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 1 | 1 |

Anexo 4.

Tabla de Influencias

| | Providencia | Las Condes | Vitacura | Ñuñoa | Centro | San Miguel | La Florida | Maipú | La Reina |
|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------|--------------|---------------|-------------------|-------------------|--------------|-----------------|
| Providencia | 0 | 0,522 | 0,411 | 0,447 | 0,405 | 0,394 | 0,410 | 0,522 | 0,386 |
| Las Condes | 0,522 | 0 | 0,464 | 0,468 | 0,375 | 0,422 | 0,408 | 0,376 | 0,528 |
| Vitacura | 0,411 | 0,464 | 0 | 0,460 | 0,428 | 0,406 | 0,443 | 0,408 | 0,741 |
| Ñuñoa | 0,447 | 0,468 | 0,460 | 0 | 0,494 | 0,402 | 0,419 | 0,406 | 0,489 |
| Centro | 0,405 | 0,375 | 0,428 | 0,494 | 0 | 0,430 | 0,474 | 0,418 | 0,407 |
| San Miguel | 0,394 | 0,422 | 0,406 | 0,402 | 0,430 | 0 | 0,424 | 0,381 | 0,372 |
| La Florida | 0,410 | 0,408 | 0,443 | 0,419 | 0,474 | 0,424 | 0 | 0,497 | 0,369 |
| Maipú | 0,522 | 0,376 | 0,408 | 0,406 | 0,418 | 0,381 | 0,497 | 0 | 0,390 |
| La Reina | 0,386 | 0,528 | 0,741 | 0,489 | 0,407 | 0,372 | 0,369 | 0,390 | 0 |