



Estudio espacio-temporal de patrones en el modelamiento discreto de la dinámica delictual

Julio Aracena

CEAMOS, CI²MA y Departamento de Ingeniería Matemática, Fac. de Cs. Fís. y Mat.,
Universidad de Concepción

Bruno Karelovic

CEAMOS y Departamento de Ingeniería Informática, Fac. de Ingeniería,
Universidad de Concepción.



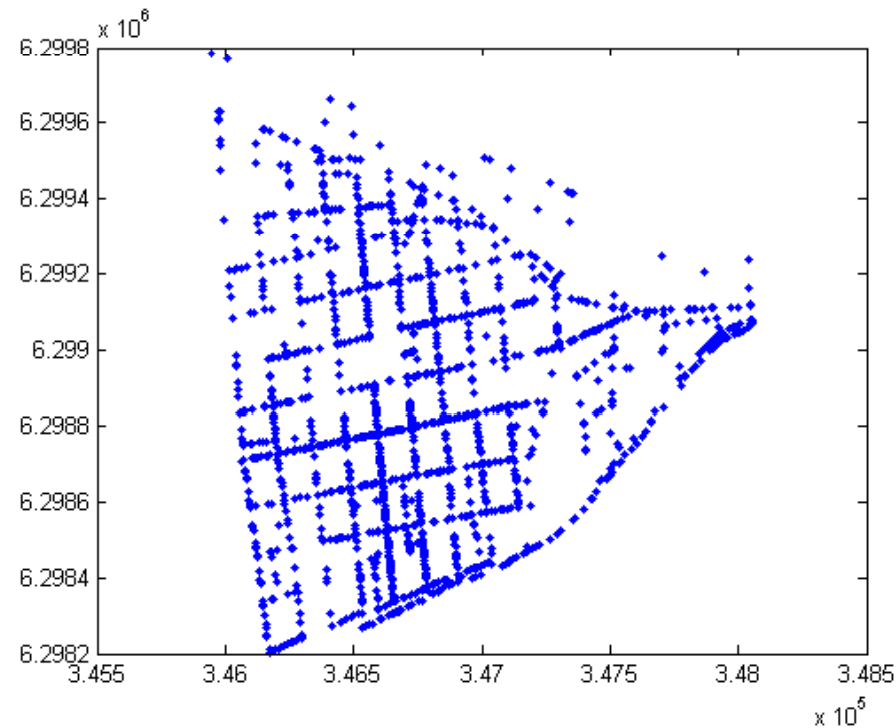
Objetivos

- o Análisis de patrones espaciales y temporales de la dinámica delictual por medio de modelos discretos.
- o Desarrollar herramientas de predicción y control.



Datos

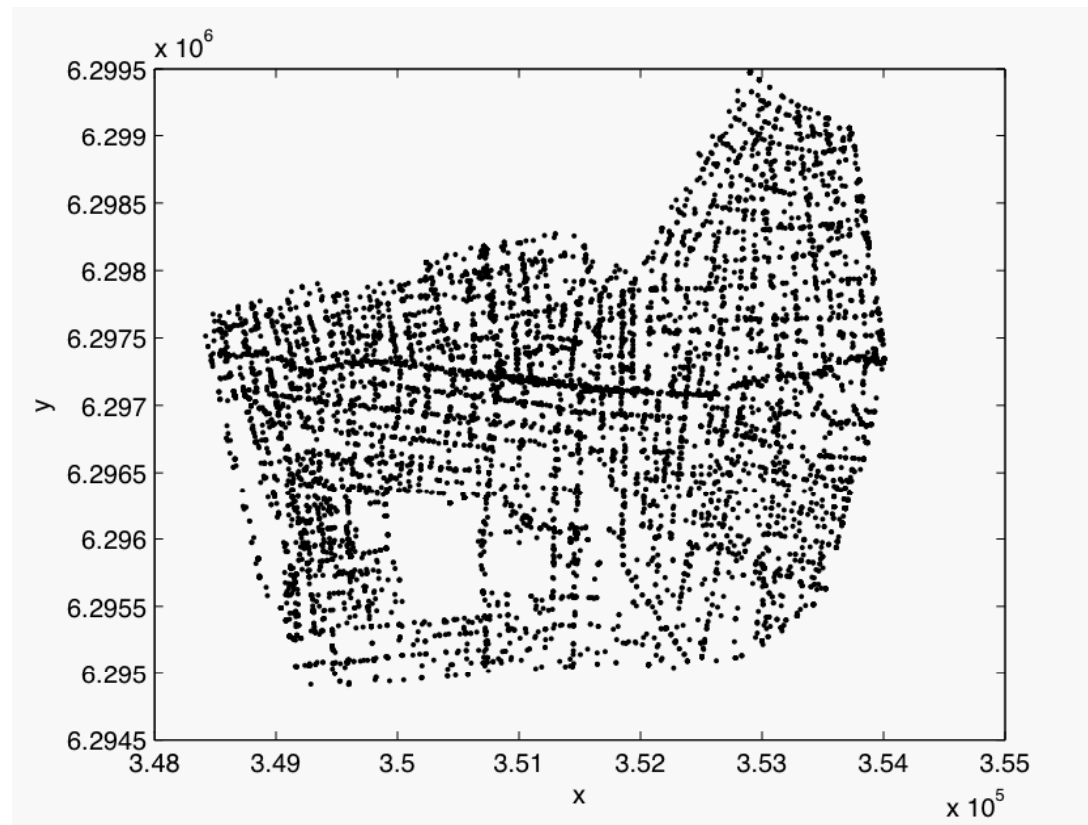
- Un conjunto de hurtos georreferenciados de la comuna de Santiago entre los años: 2001 a 2004





Datos

- Un conjunto de hurtos georreferenciados de la comuna de Ñuñoa entre los años: 2007 a 2010





Organización

- Modelamiento discreto
- Topología espacial
- Modelo AC
- Vecindad e historia
- Dinámica y control
- Referencias



Modelamiento

- Existen distintos enfoques para modelar la dinámica delictual.
- Modelos Continuos
 - Reacción y difusión
 - EDO
- Modelos Discretos
 - Estadístico
 - Autómata celular

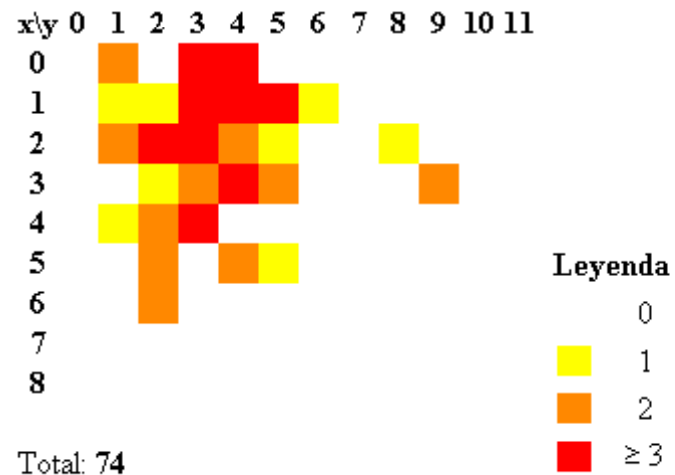


Modelamiento discreto

- Grilla cuadrada.
- Celda: 200 x 200 m.
- Unidad de tiempo: semana.

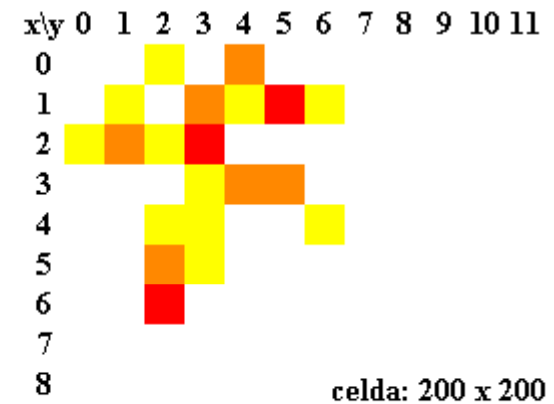
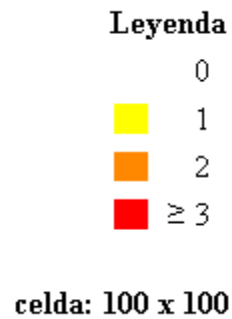
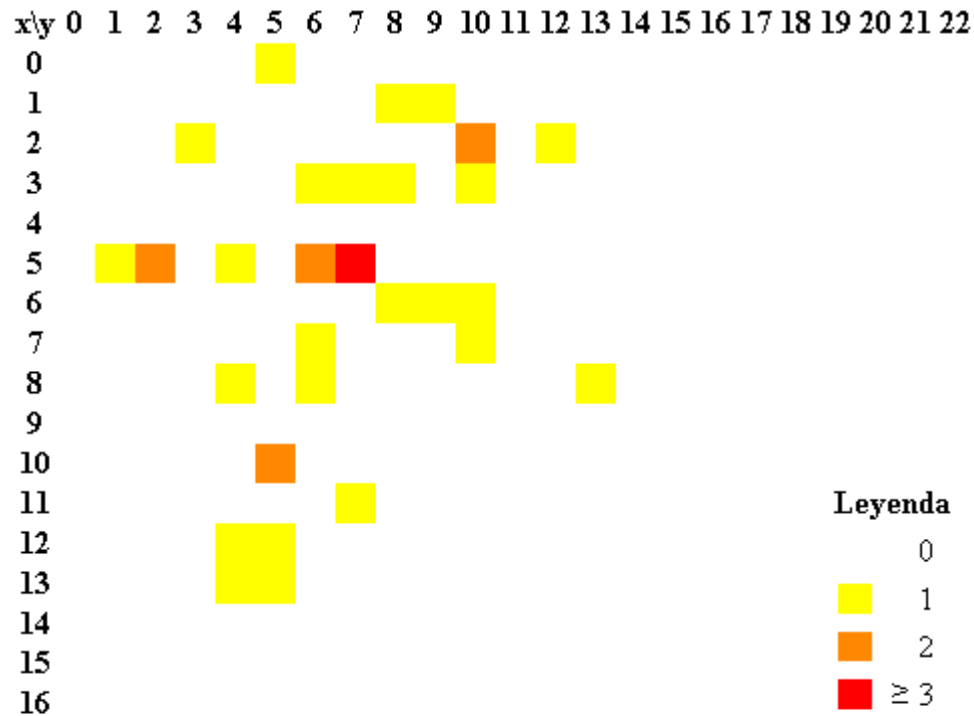
Semana 20

<< >> 20 Ir 10 Sumar Reiniciar
Tamaño: 2100 x 1600 m. Grilla: 200 x 200 m Cambiar

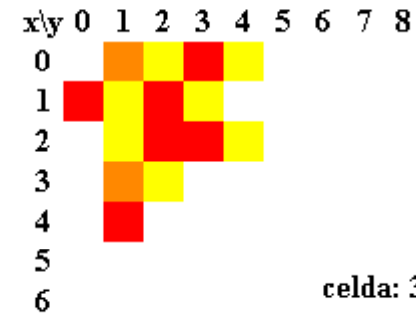




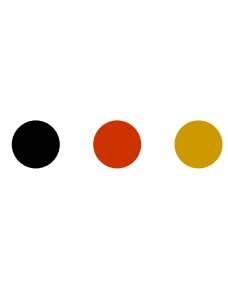
Modelamiento discreto



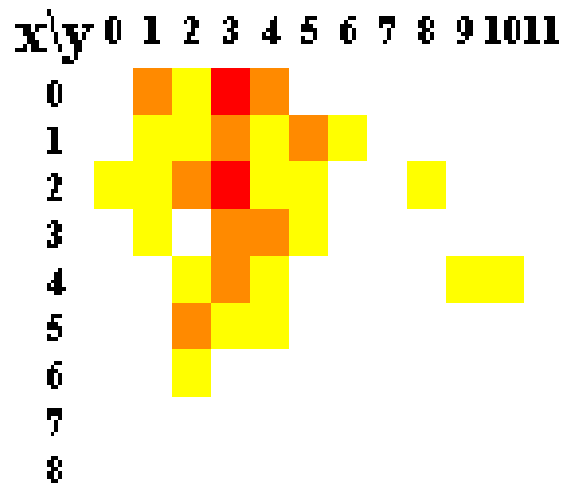
celda: 200 x 200



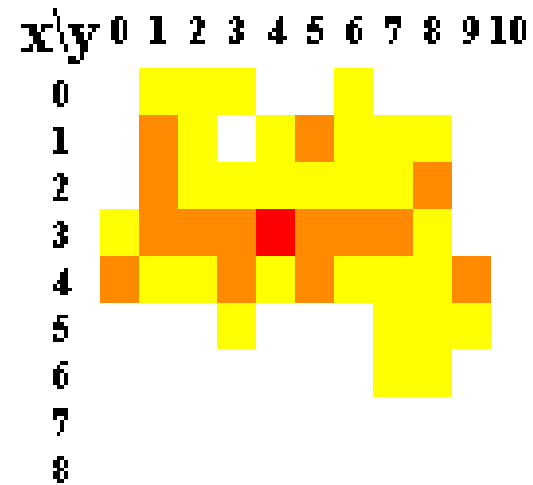
celda: 300 x 300



Valores promedios por celda



Santiago



Ñuñoa



Antecedentes

- Trabajos previos indican que hay comportamientos conocidos en la dinámica delictual (patrones):
 - Ventanas rotas (near repeat)
 - Decaimiento exponencial



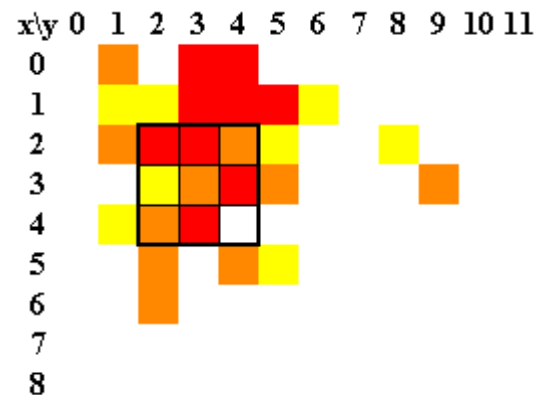
Topología Espacial

Patrones estáticos observados



Configuraciones observadas

- Por cada semana, se observan a lo más $11 \times 8 = 88$ configuraciones distintas.

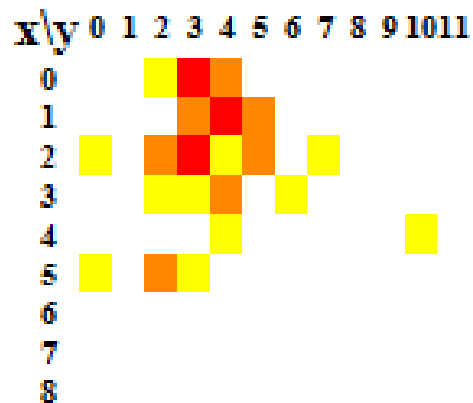


- En todas las semanas se observaron 6.000 configuraciones distintas de un total de 18.000 posibles (un 30%)



Patrones espaciales

- o Se observa que el crimen no está aleatoriamente distribuido.



- o Hotspots graduados



Configuraciones observadas

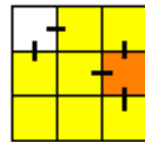
- ¿Existe algún patrón en las configuraciones observadas?
 - o Una red neuronal aprendió a decidir si una configuración de 3 x 3 había sido observada o no.
 - o **77%** de aciertos
 - o **66%** de aciertos si las no vistas tienen valores proporcionales.
 - o **Existe un patrón.**



Configuraciones observadas

- ¿Existen propiedades que permitan diferenciar las configuraciones no vistas?

$$I = \sum_{\{i,j\} \text{ adyacentes}} |i - j|$$



5



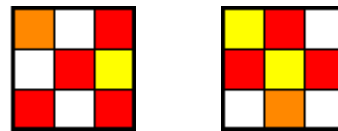
14

- Configuraciones vistas: 12,8
- Configuraciones no vistas: 13,9
- Configuraciones aisladas: 19,5



Configuraciones prohibidas

- o Existen configuraciones “prohibidas”



- o Podremos validar un modelo predictor según cuántas configuraciones prohibidas entregue.



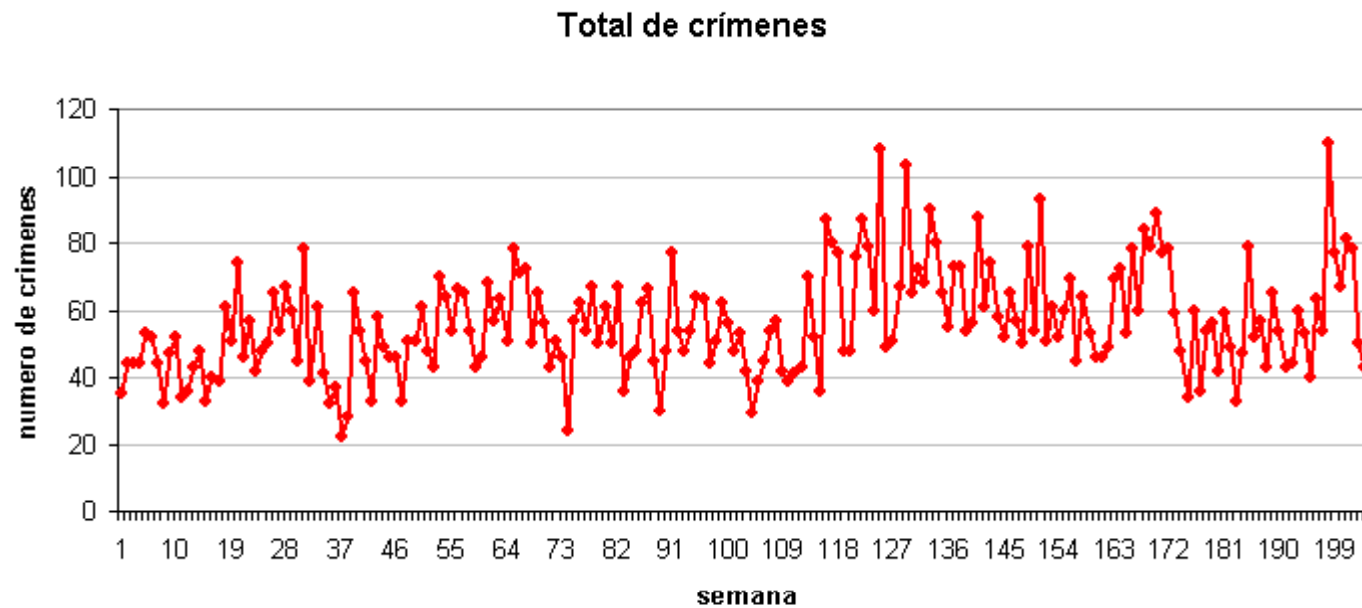
Modelo de Autómata Celular

Construcción del modelo
seleccionado



Variación del crimen.

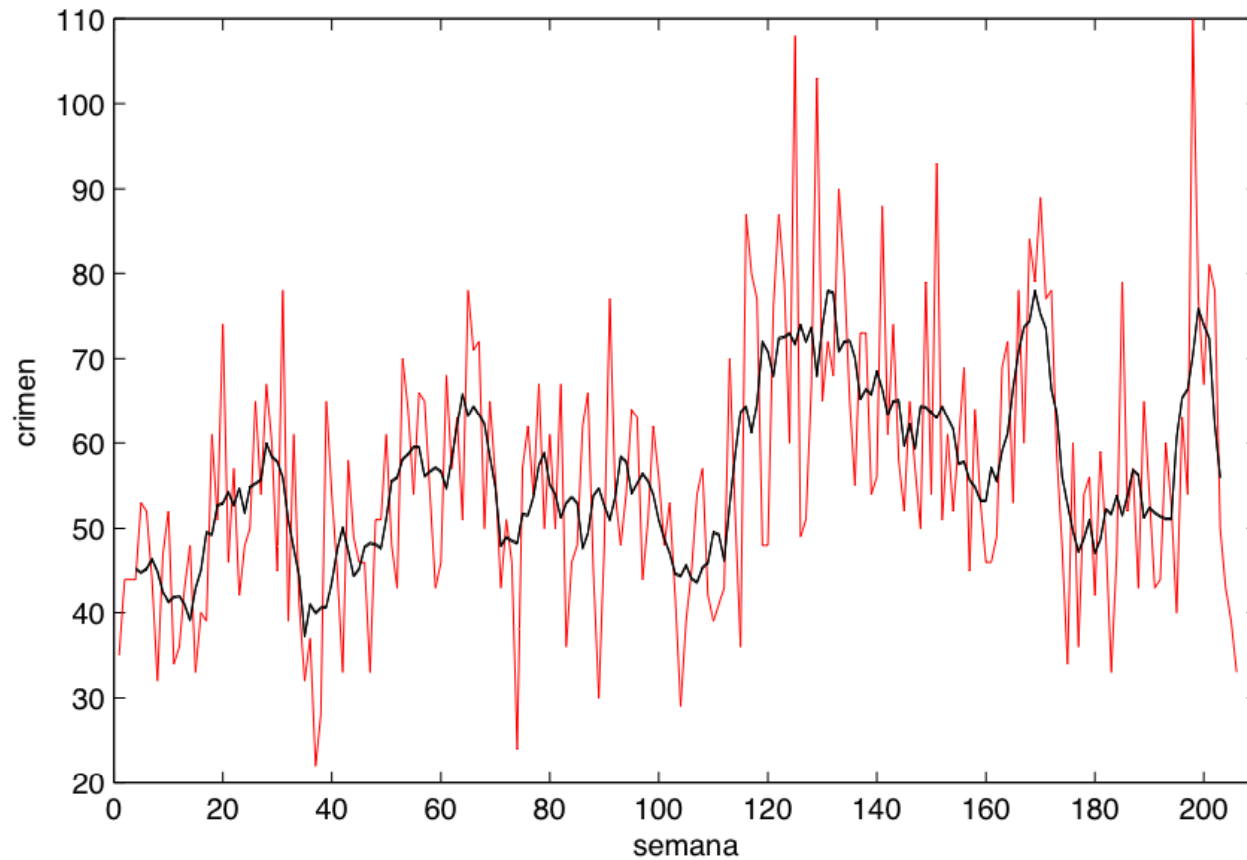
- Es muy variable
- Se busca extraer la tendencia





Variación del crimen.

Comportamiento caótico del crimen





Modelo

- o La actividad de cada celda se puede explicar como una suma global + local

$$f_i^{\text{real}} = f_i^{\text{global}} + f_i^{\text{local}}$$

- o El modelo obtendrá el comportamiento global: patrones comunes.

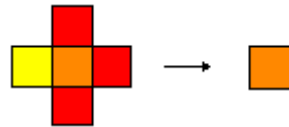
$$f_i^{\text{AC}} = f_i^{\text{global}}$$

- o Lo local puede ser visto como ruido.



Modelo - AC

- En los Autómatas Celulares (AC)
 - Cada celda se actualiza según los valores de sus **vecinas**.
 - Todas las celdas tienen **la misma función de transición**.



- Emergen comportamientos globales.



Modelo - AC

- Rescatar lo común a todas las celdas e independiente del tiempo.
- Se sabe que el pasado reciente y las celdas cercanas influyen principalmente.
- Basarse en la historia para encontrar la regla de comportamiento.
- ¿Qué regla tendrá el modelo?

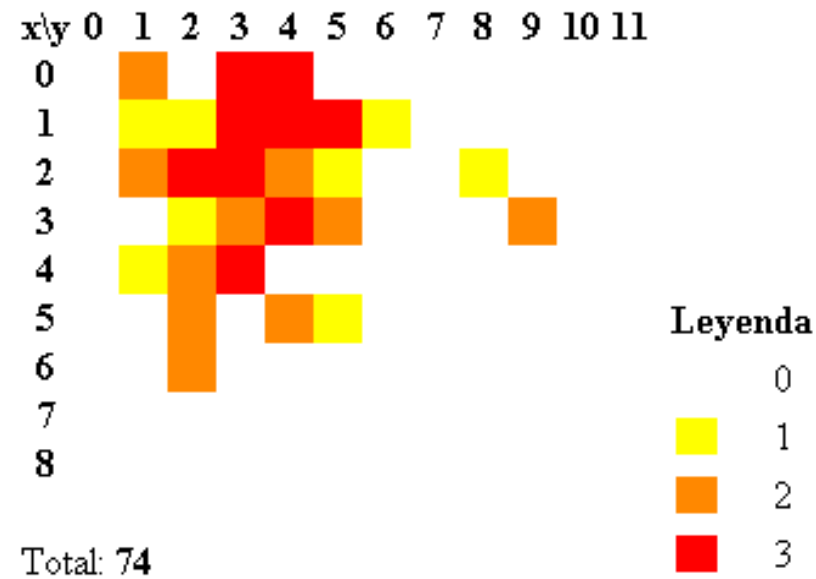


Ejemplo: Semana 20 en Santiago

Semana 20

<< >> 20 Ir 10 Sumar Reiniciar

Tamaño: 2100 x 1600 m. Grilla: 200 x 200 m Cambiar



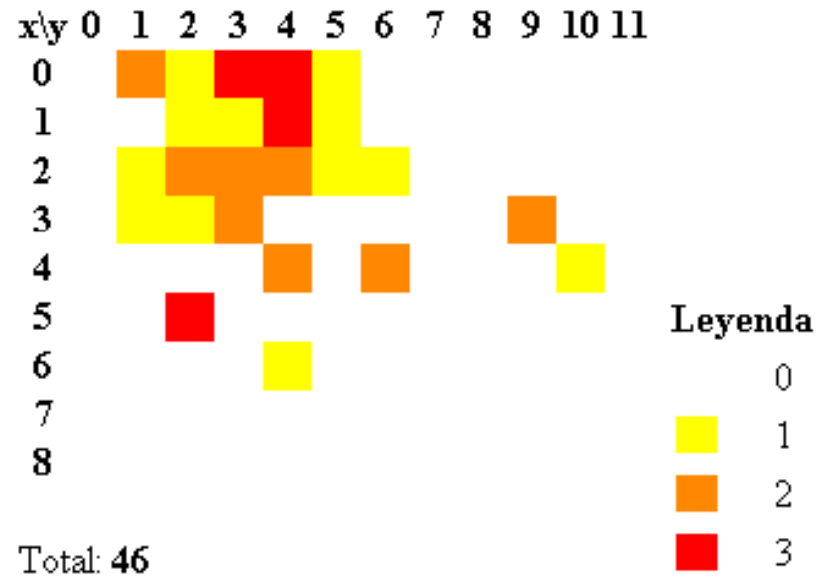


Semana 21

Semana 21

<< >> 21 Ir 10 Sumar Reiniciar

Tamaño: 2100 x 1600 m. Grilla: 200 x 200 m Cambiar



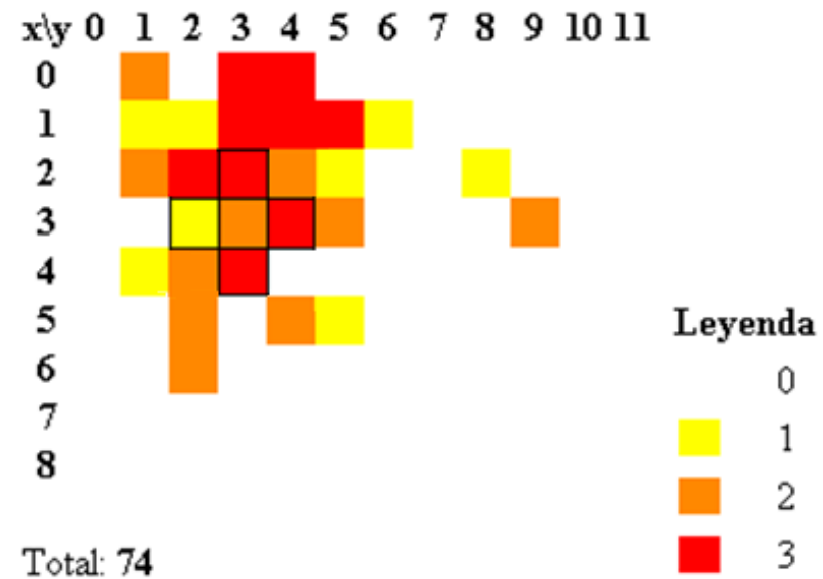


Semana 20

Semana 20

<< >> 20 Ir 10 Sumar Reiniciar

Tamaño: 2100 x 1600 m. Grilla: 200 x 200 m Cambiar



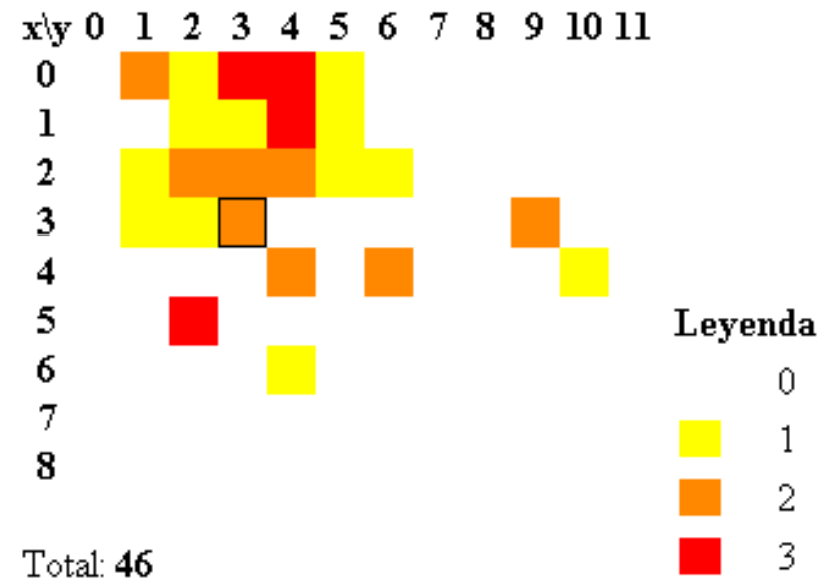


Semana 21

Semana 21

<< >> 21 Ir 10 Sumar Reiniciar

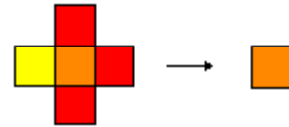
Tamaño: 2100 x 1600 m. Grilla: 200 x 200 m Cambiar





Modelo – función de transición.

El dato se resume a



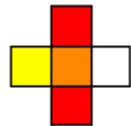
3 1 2 3 3 → **2**

o $205 \times 8 \times 11 = 18.040$ datos



Problemas

- ★ No se tienen todas las configuraciones.



[3 1 2 0 3] no se ha observado

- ★ Para una misma configuración se tienen distintas salidas. (no es función).

3 1 2 3 3 → 2

3 1 2 3 3 → 1

Para que sea función, tendría que elegirse una vecindad de 7 x 7.

- ★ En ambos casos ¿Qué valores asignar a estas configuraciones?

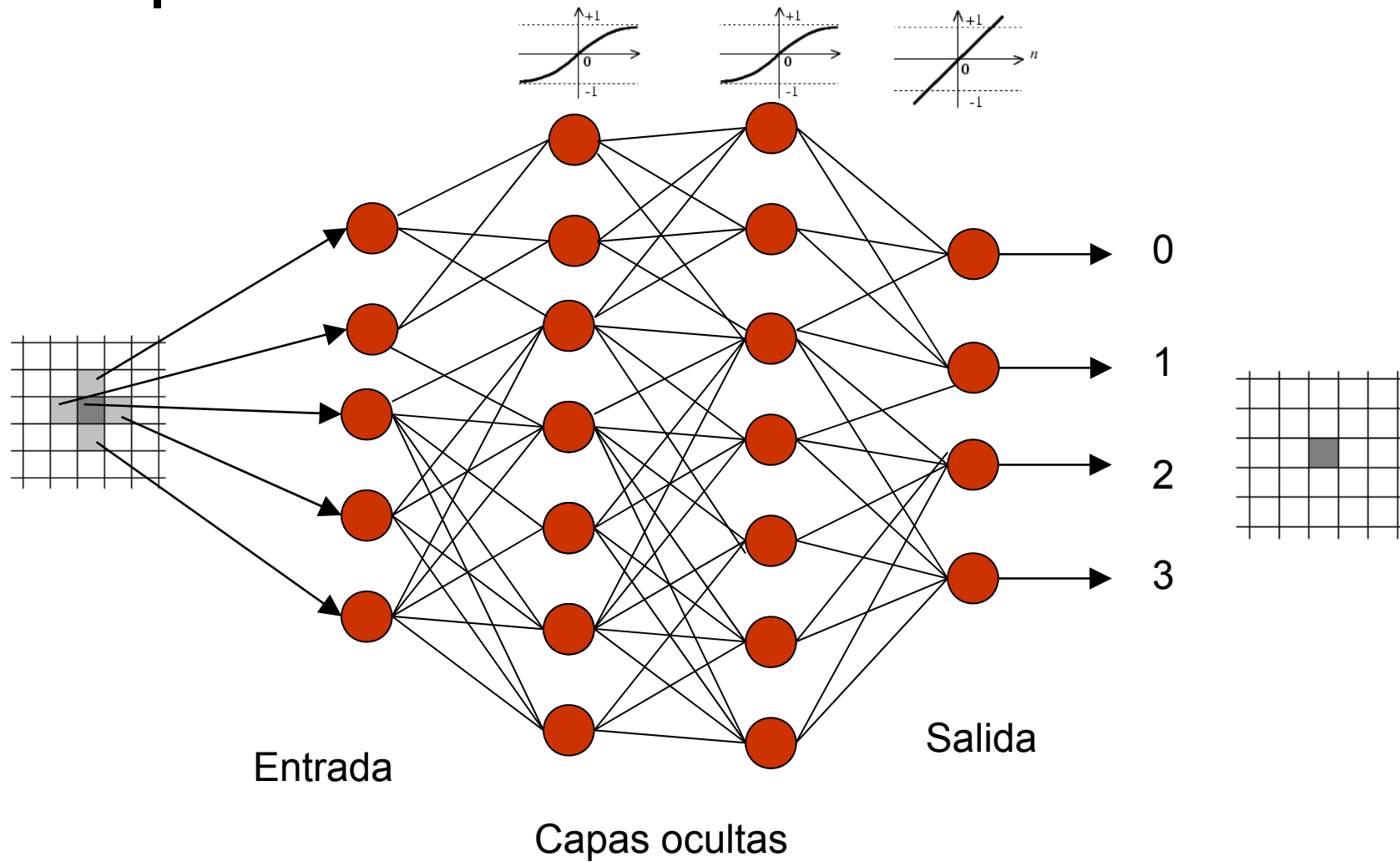


Redes Neuronales

- Modelo matemático utilizado para aproximar funciones.
 - Se construye en base a **ejemplos**.
 - Encuentra patrones y tendencias, siendo capaz de **generalizar**.
 - Parámetros: **arquitectura**, **tipo de función** y **pesos de conexión**.
-
- ✓ Completar.
 - ✓ Decidir.



Redes Neuronales





Red Neuronal

- Su arquitectura se eligió entre muchas, por tener mejor rendimiento.
- Sólo se consideraron celdas importantes.
- Se excluyó del entrenamiento al dato “0 0 0 0 0 → 0” para evitar sesgo.



Rendimiento del modelo

Santiago:

- Aciertos: 64% (máx.: 68%)
- Configuraciones prohibidas: 2192.

Ñuñoa:

- Aciertos: 50% (max.: 57%)
- Configuraciones prohibidas: 2972.



Vecindad e historia

Conocer la importancia de estas dos variables para predecir el crimen.



Primeros enfoques

- o Promedio vecinos
- o Identidad
- o Moda por celda
- o Modelo estocástico (Markoviano)



Modelo estocástico

- o Basado en la transición de estados.

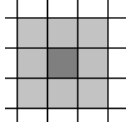
salida

		0	1	2	3
entrada	0	10962	1287	333	199
	1	1249	645	341	301
	2	381	317	233	286
	3	189	290	308	719

- o Predecir el siguiente estado según el estado actual, estocásticamente.



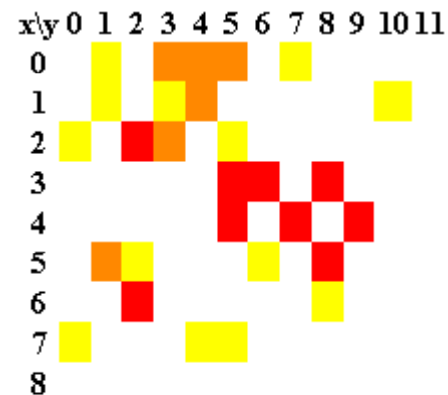
Otros modelos

- o Vecindad de Moore 
- o Considerar el pasado
- o Considerar el promedio de la celda.
- o Moda



Modelo de Markov

- o Predicción de una semana del modelo estocástico



¡Tiene muchas configuraciones prohibidas!



Resumen modelos (Santiago)

Modelo	Error	C. Proh 5	C. Proh 9
Markov	0.47	~ 100	~4700
AC 5	0.36	40	2027
AC 9	0.41	55	4600
AC+ prom 5	0.34	60	
Identidad	0.42	0	0
Prom. Hist	0.39	0	4120
Prom. Vec 5	0.48	536	4428
Prom. Vec 9	0.48	479	4362
Moda	0.33	206	2472



Dinámica, Predicción y Control



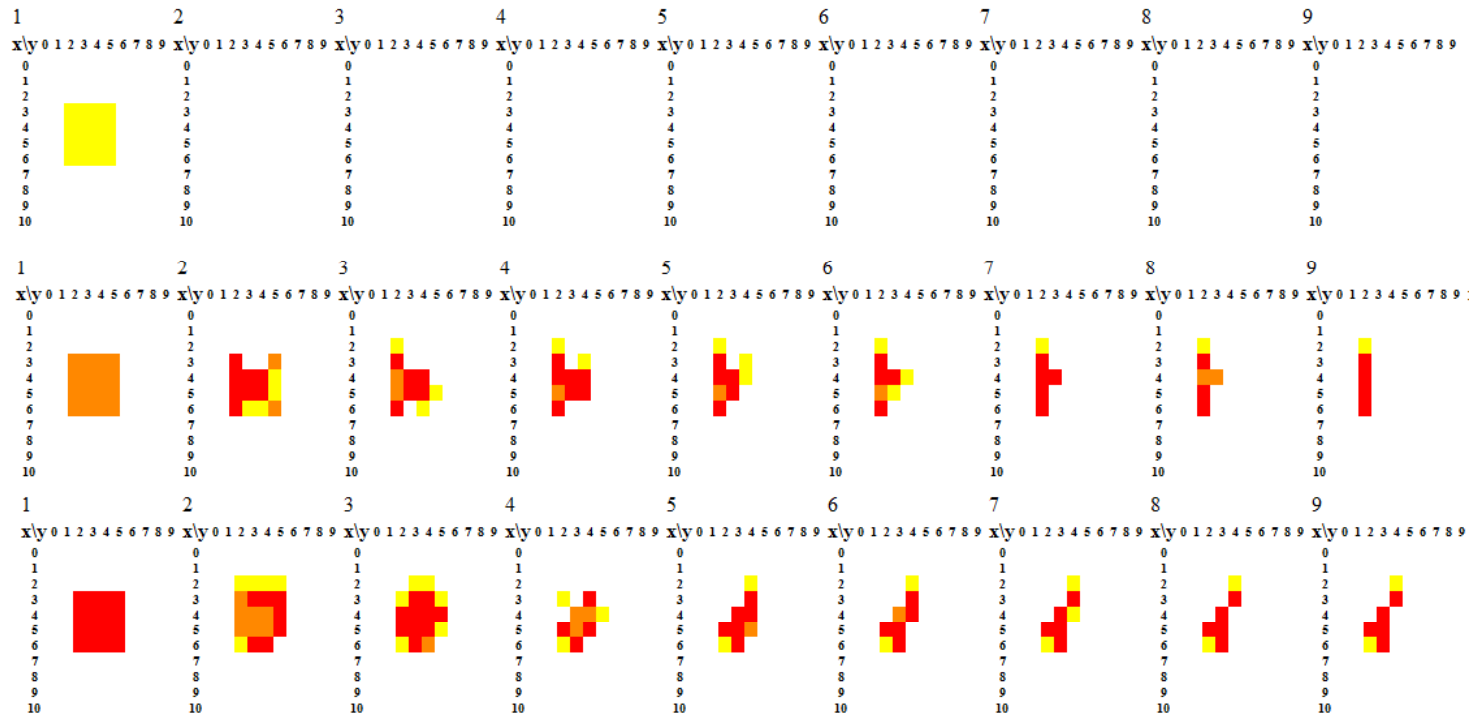
Dinámica global de los AC

En los AC para Santiago y Ñuñoa se observa que:

- No existe simetría.
- Los atractores son principalmente puntos fijos.
- Los transientes son de largo pequeño.
- Hay saturación (no monotonía).
- Intensidad y difusión influyen en formación de hotspots.

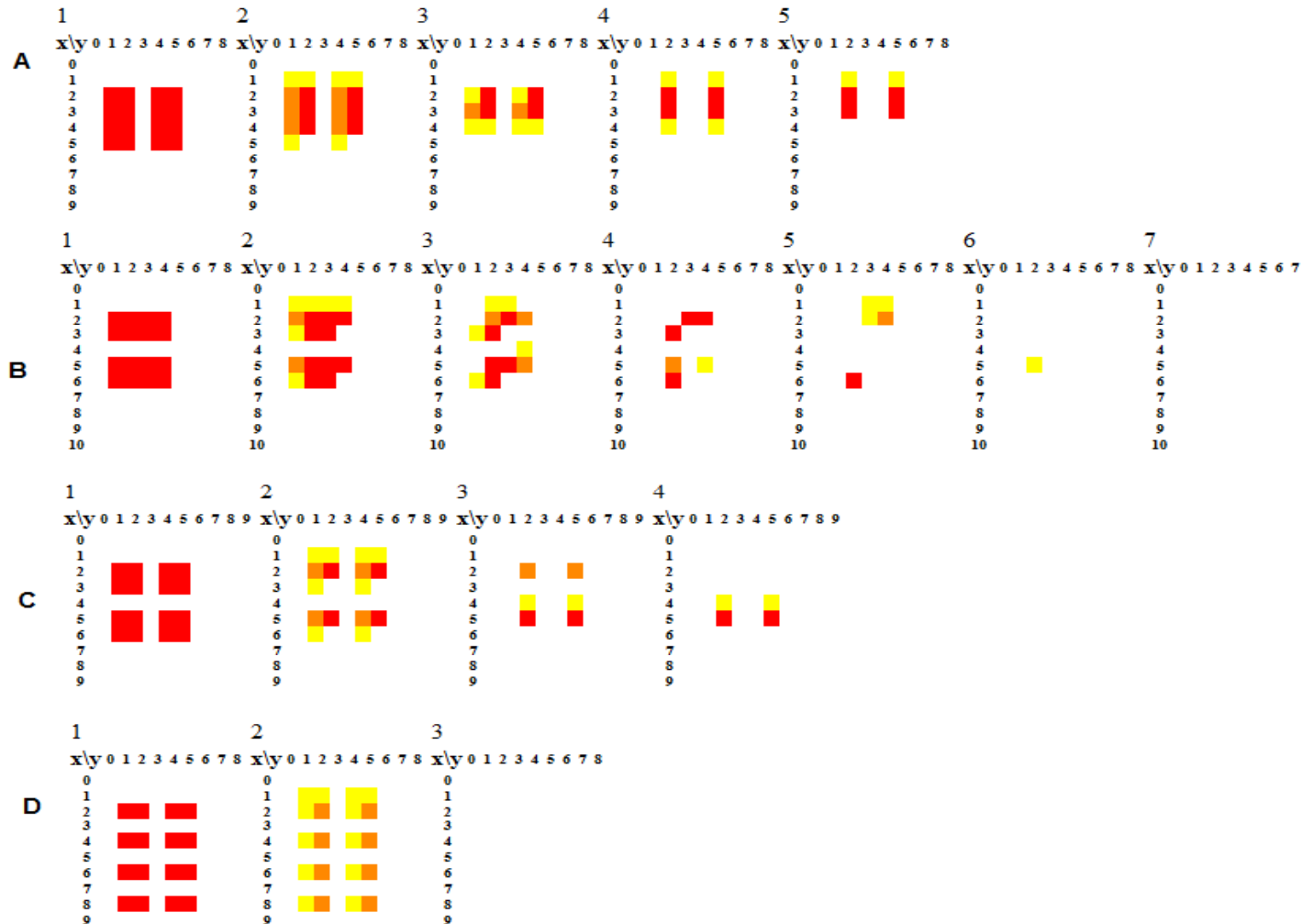


Ejemplo de la dinámica del AC en Santiago





Ejemplo de la dinámica del AC en Santiago





Ejemplo de la dinámica del AC en Ñuñoa



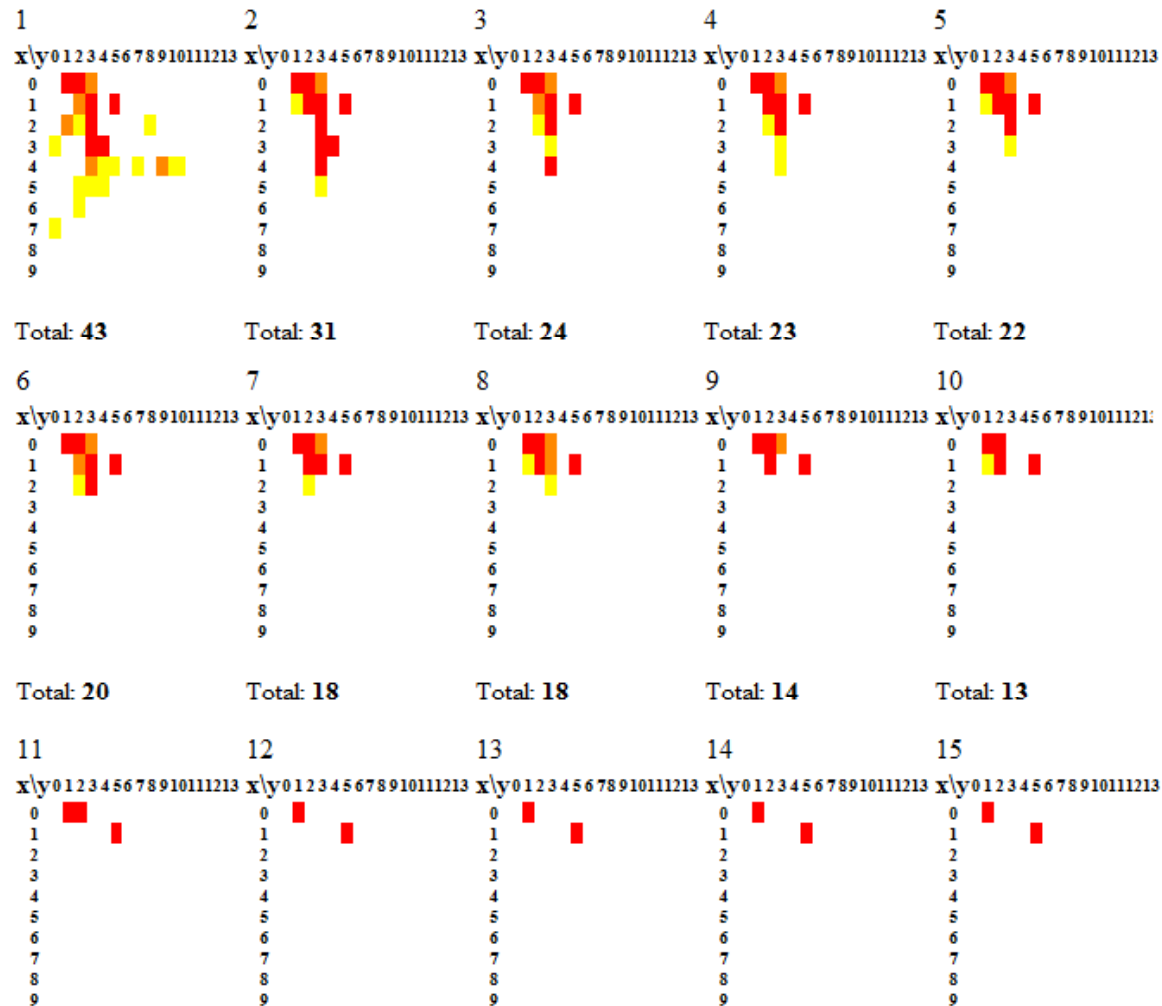


Predicción y control

- Al aplicar el AC repetidas veces a una semana en particular, se obtiene lo que perdura en el tiempo (si no hubiera influencias externas).
- Permite predecir el comportamiento futuro global si se modifican ciertas celdas.

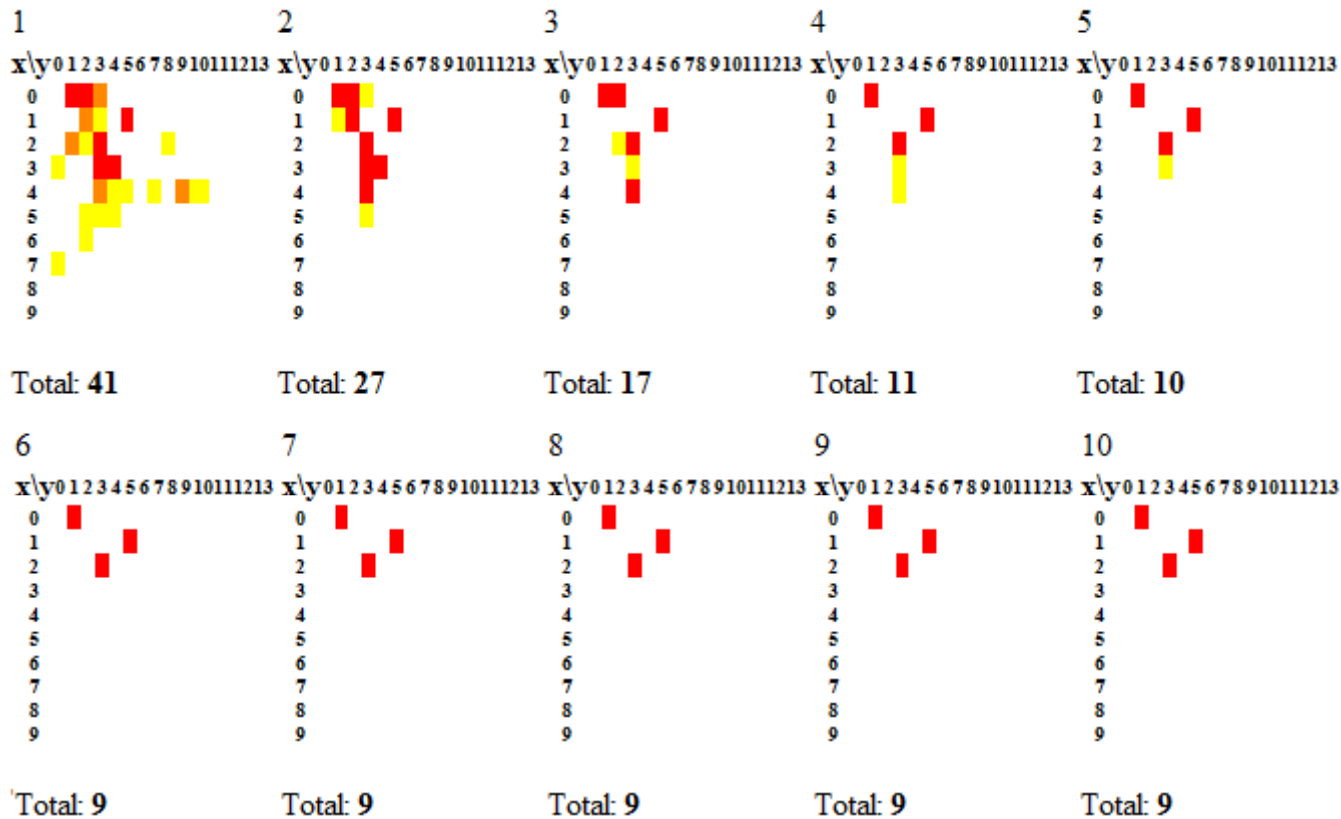


Dinámica de una configuración original del AC de Santiago



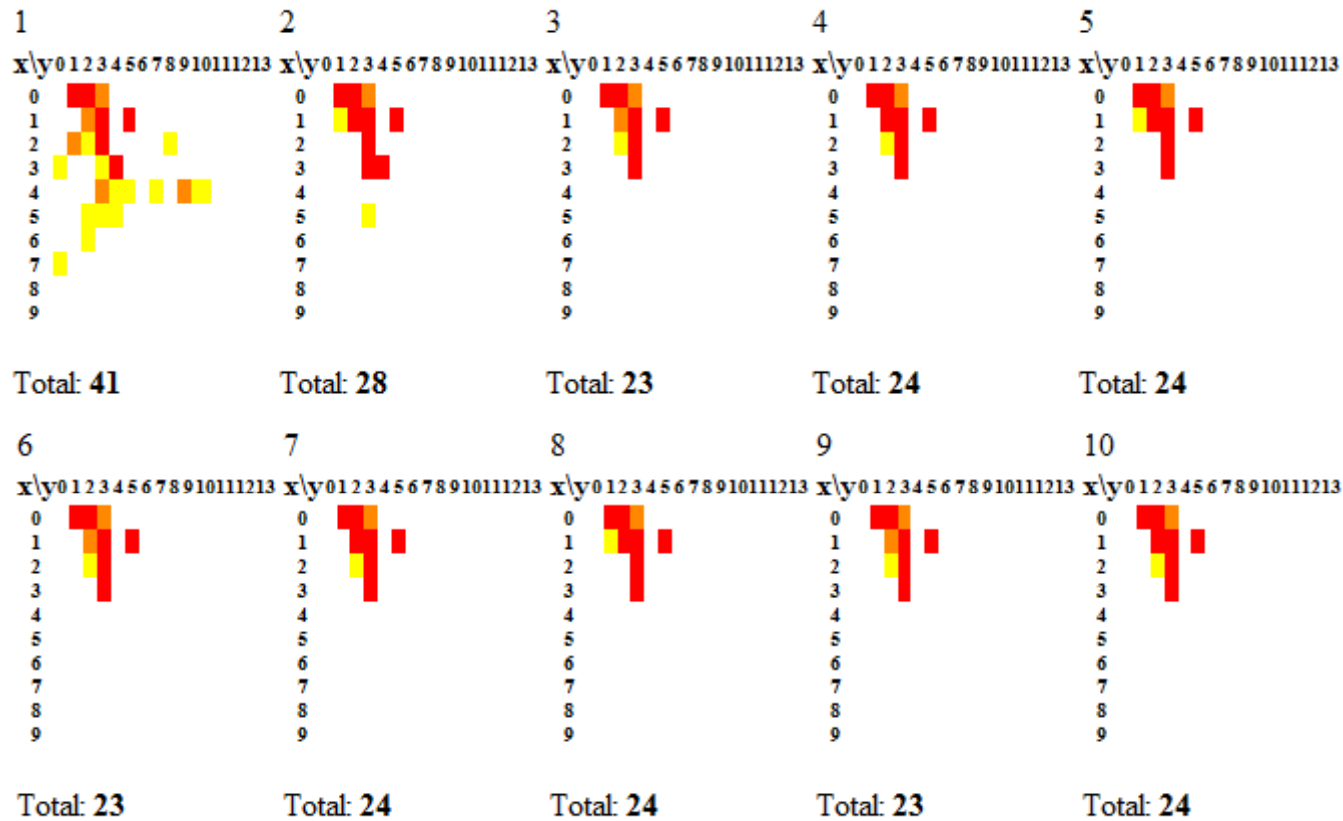


Dinámica de la configuración original modificada





Dinámica de la configuración original modificada II





Referencias

- de Meneses MA., Barabasi A-L, *Fluctuations in network dynamics*, Phys. rev Lett. (2004) 92:028701 .
- Barthelemy M., Nadal J-P., Berestycky H., *Disentangling collective trends from local dynamics*, PNAS 107 (17) (2010), 7629-7634.
- Gorr W., Olligschlaeger A., *Spatio-temporal Forecasting of Crime: Application of Classical and Neural Network Methods* In: H.John Heinz III School of Public Policy and Management, Carnegie Mellon University.
- Moena D., *Prediccion espacio-temporal de niveles de crímenes en la region Metropolitana mediante Redes Neuronales*, Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil Informático, Universidad de Concepción.
- Short M.B., D'Orsogna M.R., Pasour V.B., Tita G.E., Brantingham P.J., Bertozzi A.L., y Chayes L.B., *A statistical model of criminal behavior*, M3AS 18 (2008).

