

Modelación Basada en Agentes

Dr. Felipe Contreras

26 de enero de 2018

1

Antecedentes

- Sistemas Complejos
- Mapeos Discretos
- Autómatas Celulares

Sistemas Complejos

Características

- Sistema: Conjunto de elementos o partes conectadas entre sí, que llevan a cabo cierta función
- Complejo \neq Complicado
- Presentan auto-organización
- Exhiben propiedades emergentes (“el todo es más que la suma de sus partes”)
 - ① Muchos elementos
 - ② Las interacciones son dinámicas
 - ③ Elementos influyen y son influidos por los demás
 - ④ Las interacciones son no lineales (pequeñas “causas”, pueden tener “efectos” grandes)
 - ⑤ Las interacciones son recursivas
 - ⑥ Son abiertos
 - ⑦ Operan lejos del equilibrio
 - ⑧ Tienen una historia
 - ⑨ Los elementos actúan con información local

Características

- Sistema: Conjunto de elementos o partes conectadas entre sí, que llevan acabo cierta función
- **Complejo \neq Complicado**
- Presentan auto-organización
- Exhiben propiedades emergentes (“el todo es más que la suma de sus partes”)
 - ① Muchos elementos
 - ② Las interacciones son dinámicas
 - ③ Elementos influyen y son influidos por los demás
 - ④ Las interacciones son no lineales (pequeñas “causas”, pueden tener “efectos” grandes)
 - ⑤ Las interacciones son recursivas
 - ⑥ Son abiertos
 - ⑦ Operan lejos del equilibrio
 - ⑧ Tienen una historia
 - ⑨ Los elementos actúan con información local

Características

- Sistema: Conjunto de elementos o partes conectadas entre sí, que llevan acabo cierta función
- Complejo \neq Complicado
- Presentan auto-organización
- Exhiben propiedades emergentes (“el todo es más que la suma de sus partes”)
 - Muchos elementos
 - Las interacciones son dinámicas
 - Elementos influyen y son influidos por los demás
 - Las interacciones son no lineales (pequeñas “causas”, pueden tener “efectos” grandes)
 - Las interacciones son recursivas
 - Son abiertos
 - Operan lejos del equilibrio
 - Tienen una historia
 - Los elementos actúan con información local

Características

- Sistema: Conjunto de elementos o partes conectadas entre sí, que llevan acabo cierta función
- Complejo \neq Complicado
- Presentan auto-organización
- Exhiben propiedades emergentes (“el todo es más que la suma de sus partes”)
 - 1 Muchos elementos
 - 2 Las interacciones son dinámicas
 - 3 Elementos influyen y son influidos por los demás
 - 4 Las interacciones son no lineales (pequeñas “causas”, pueden tener “efectos” grandes)
 - 5 Las interacciones son recursivas
 - 6 Son abiertos
 - 7 Operan lejos del equilibrio
 - 8 Tienen una historia
 - 9 Los elementos actúan con información local

Características

- Sistema: Conjunto de elementos o partes conectadas entre sí, que llevan acabo cierta función
- Complejo \neq Complicado
- Presentan auto-organización
- Exhiben propiedades emergentes (“el todo es más que la suma de sus partes”)

1 Muchos elementos

- 2 Las interacciones son dinámicas
- 3 Elementos influyen y son influidos por los demás
- 4 Las interacciones son no lineales (pequeñas “causas”, pueden tener “efectos” grandes)
- 5 Las interacciones son recursivas
- 6 Son abiertos
- 7 Operan lejos del equilibrio
- 8 Tienen una historia
- 9 Los elementos actúan con información local

Características

- Sistema: Conjunto de elementos o partes conectadas entre sí, que llevan acabo cierta función
- Complejo \neq Complicado
- Presentan auto-organización
- Exhiben propiedades emergentes (“el todo es más que la suma de sus partes”)
 - 1 Muchos elementos
 - 2 Las interacciones son dinámicas
 - 3 Elementos influyen y son influidos por los demás
 - 4 Las interacciones son no lineales (pequeñas “causas”, pueden tener “efectos” grandes)
 - 5 Las interacciones son recursivas
 - 6 Son abiertos
 - 7 Operan lejos del equilibrio
 - 8 Tienen una historia
 - 9 Los elementos actúan con información local

Características

- Sistema: Conjunto de elementos o partes conectadas entre sí, que llevan acabo cierta función
- Complejo \neq Complicado
- Presentan auto-organización
- Exhiben propiedades emergentes (“el todo es más que la suma de sus partes”)
 - 1 Muchos elementos
 - 2 Las interacciones son dinámicas
 - 3 Elementos influyen y son influidos por los demás
 - 4 Las interacciones son no lineales (pequeñas “causas”, pueden tener “efectos” grandes)
 - 5 Las interacciones son recursivas
 - 6 Son abiertos
 - 7 Operan lejos del equilibrio
 - 8 Tienen una historia
 - 9 Los elementos actúan con información local

Características

- Sistema: Conjunto de elementos o partes conectadas entre sí, que llevan acabo cierta función
- Complejo \neq Complicado
- Presentan auto-organización
- Exhiben propiedades emergentes (“el todo es más que la suma de sus partes”)
 - 1 Muchos elementos
 - 2 Las interacciones son dinámicas
 - 3 Elementos influyen y son influidos por los demás
 - 4 Las interacciones son no lineales (pequeñas “causas”, pueden tener “efectos” grandes)
 - 5 Las interacciones son recursivas
 - 6 Son abiertos
 - 7 Operan lejos del equilibrio
 - 8 Tienen una historia
 - 9 Los elementos actúan con información local

Características

- Sistema: Conjunto de elementos o partes conectadas entre sí, que llevan acabo cierta función
- Complejo \neq Complicado
- Presentan auto-organización
- Exhiben propiedades emergentes (“el todo es más que la suma de sus partes”)
 - ① Muchos elementos
 - ② Las interacciones son dinámicas
 - ③ Elementos influyen y son influidos por los demás
 - ④ Las interacciones son no lineales (pequeñas “causas”, pueden tener “efectos” grandes)
 - ⑤ Las interacciones son recursivas
 - ⑥ Son abiertos
 - ⑦ Operan lejos del equilibrio
 - ⑧ Tienen una historia
 - ⑨ Los elementos actúan con información local

Características

- Sistema: Conjunto de elementos o partes conectadas entre sí, que llevan acabo cierta función
- Complejo \neq Complicado
- Presentan auto-organización
- Exhiben propiedades emergentes (“el todo es más que la suma de sus partes”)
 - 1 Muchos elementos
 - 2 Las interacciones son dinámicas
 - 3 Elementos influyen y son influidos por los demás
 - 4 Las interacciones son no lineales (pequeñas “causas”, pueden tener “efectos” grandes)
 - 5 Las interacciones son recursivas
 - 6 **Son abiertos**
 - 7 Operan lejos del equilibrio
 - 8 Tienen una historia
 - 9 Los elementos actúan con información local

Características

- Sistema: Conjunto de elementos o partes conectadas entre sí, que llevan acabo cierta función
- Complejo \neq Complicado
- Presentan auto-organización
- Exhiben propiedades emergentes (“el todo es más que la suma de sus partes”)
 - 1 Muchos elementos
 - 2 Las interacciones son dinámicas
 - 3 Elementos influyen y son influidos por los demás
 - 4 Las interacciones son no lineales (pequeñas “causas”, pueden tener “efectos” grandes)
 - 5 Las interacciones son recursivas
 - 6 Son abiertos
 - 7 Operan lejos del equilibrio
 - 8 Tienen una historia
 - 9 Los elementos actúan con información local

Características

- Sistema: Conjunto de elementos o partes conectadas entre sí, que llevan acabo cierta función
- Complejo \neq Complicado
- Presentan auto-organización
- Exhiben propiedades emergentes (“el todo es más que la suma de sus partes”)
 - 1 Muchos elementos
 - 2 Las interacciones son dinámicas
 - 3 Elementos influyen y son influidos por los demás
 - 4 Las interacciones son no lineales (pequeñas “causas”, pueden tener “efectos” grandes)
 - 5 Las interacciones son recursivas
 - 6 Son abiertos
 - 7 Operan lejos del equilibrio
 - 8 Tienen una historia
 - 9 Los elementos actúan con información local

Características

- Sistema: Conjunto de elementos o partes conectadas entre sí, que llevan acabo cierta función
- Complejo \neq Complicado
- Presentan auto-organización
- Exhiben propiedades emergentes (“el todo es más que la suma de sus partes”)
 - 1 Muchos elementos
 - 2 Las interacciones son dinámicas
 - 3 Elementos influyen y son influidos por los demás
 - 4 Las interacciones son no lineales (pequeñas “causas”, pueden tener “efectos” grandes)
 - 5 Las interacciones son recursivas
 - 6 Son abiertos
 - 7 Operan lejos del equilibrio
 - 8 Tienen una historia
 - 9 Los elementos actúan con información local

Mapeos Discretos

Mapeos discretos

- $y = f(x)$
- $x_1 = f(x_0)$
- $x_2 = f(x_1), x_3 = f(x_2), x_4 = f(x_3), \dots$

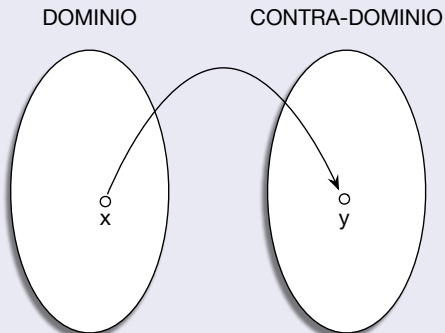
Mapeos discretos

- $y = f(x)$
- $x_1 = f(x_0)$
- $x_2 = f(x_1), x_3 = f(x_2), x_4 = f(x_3), \dots$

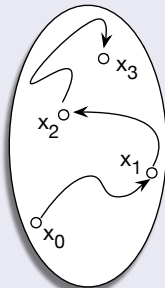
Mapeos discretos

- $y = f(x)$
- $x_1 = f(x_0)$
- $x_2 = f(x_1), x_3 = f(x_2), x_4 = f(x_3), \dots$

Representación gráfica

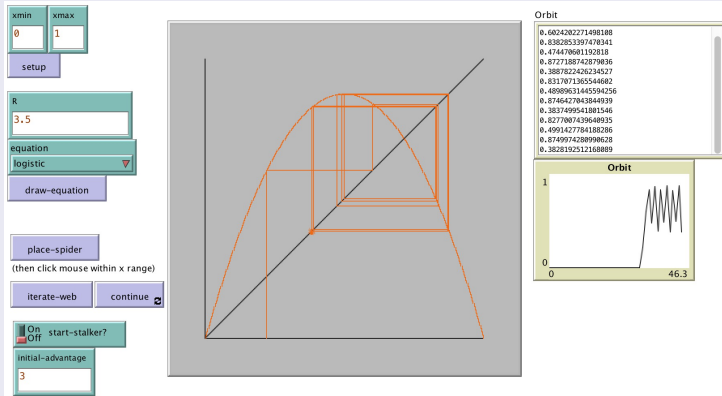


DOMINIO Y CONTRA-DOMINIO



Representación gráfica

Programa "logística"



- Converge (a un punto)
- No converge: tiene ciclo límite
- No converge: órbita densa

- Converge (a un punto)
- No converge: tiene ciclo límite
- No converge: órbita densa

- Converge (a un punto)
- No converge: tiene ciclo límite
- No converge: órbita densa

Autómatas Celulares

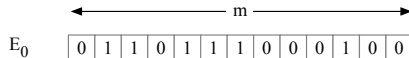
Definición

- Vocabulario σ de n símbolos
- Organización de m de estos símbolos en un estado inicial E_0
- Tamaño de vecindad o radio ρ
- Condiciones en la frontera (cíclica, terminación, valor único)
- Regla de evolución (función de mapeo)

$$\sigma = \{0, 1\}, n = 2$$

Definición

- Vocabulario σ de n símbolos
- Organización de m de estos símbolos en un estado inicial E_0
- Tamaño de vecindad o radio ρ
- Condiciones en la frontera (cíclica, terminación, valor único)
- Regla de evolución (función de mapeo)



Definición

- Vocabulario σ de n símbolos
- Organización de m de estos símbolos en un estado inicial E_0
- Tamaño de vecindad o radio ρ
- Condiciones en la frontera (cíclica, terminación, valor único)
- Regla de evolución (función de mapeo)

$$\rho = 3$$

Definición

- Vocabulario σ de n símbolos
- Organización de m de estos símbolos en un estado inicial E_0
- Tamaño de vecindad o radio ρ
- Condiciones en la frontera (cíclica, terminación, valor único)
- Regla de evolución (función de mapeo)

E_0

0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Definición

- Vocabulario σ de n símbolos
- Organización de m de estos símbolos en un estado inicial E_0
- Tamaño de vecindad o radio ρ
- Condiciones en la frontera (cíclica, terminación, valor único)
- Regla de evolución (función de mapeo)

Regla 124

0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Regla de evolución

Regla 124

dígitos de 0 a n^p en base n	0 →	0	0	0	0	← dígito menos significativo
	1 →	0	0	1	0	124 en base n
	2 →	0	1	0	1	
	3 →	0	1	1	1	
	4 →	1	0	0	1	
	5 →	1	0	1	1	
	6 →	1	1	0	1	
	7 →	1	1	1	0	← dígito más significativo

$$124_{10} = 01111100_2$$

Aplicación de la regla

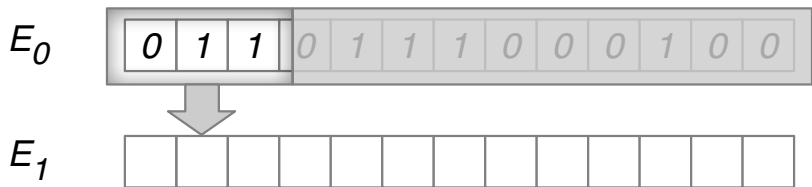
E_0

0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

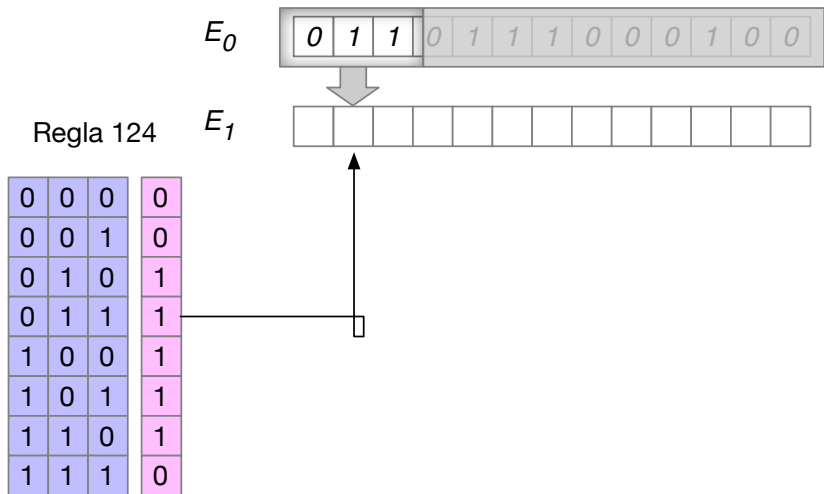
E_1

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

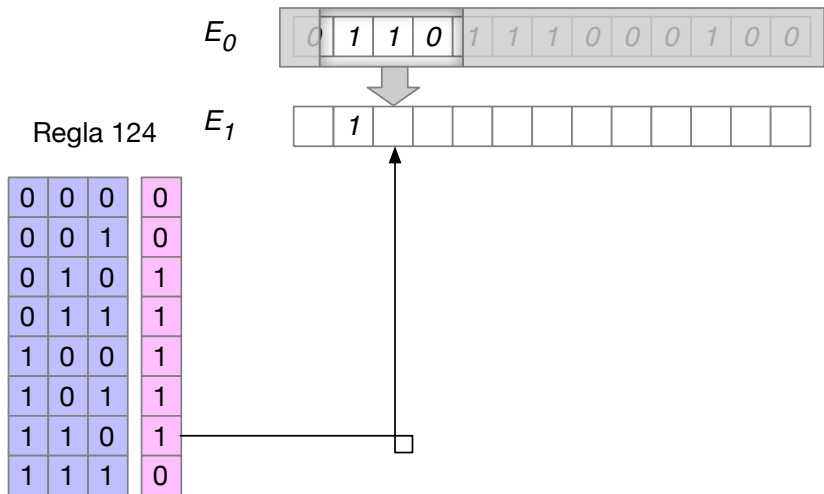
Aplicación de la regla



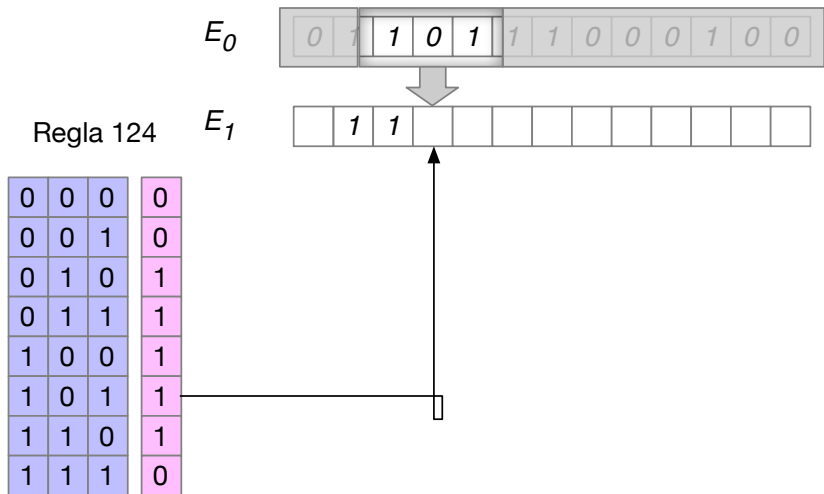
Aplicación de la regla



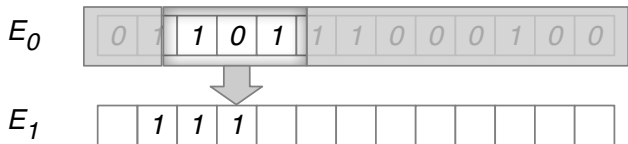
Aplicación de la regla



Aplicación de la regla



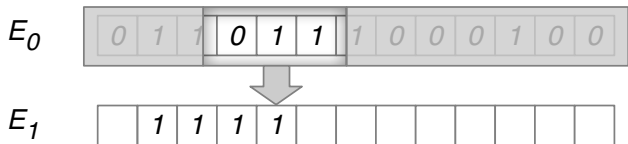
Aplicación de la regla



Regla 124

0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

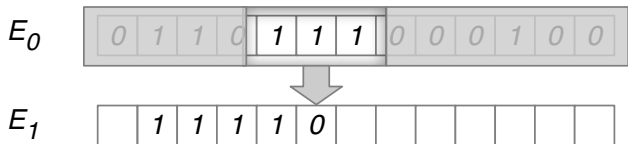
Aplicación de la regla



Regla 124

0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

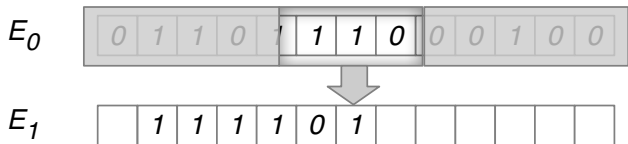
Aplicación de la regla



Regla 124

0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Aplicación de la regla



Regla 124

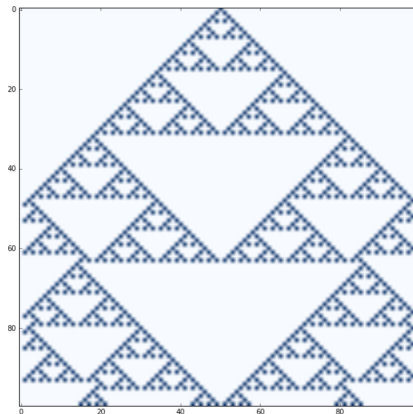
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Aplicación de la regla

¿cómo quedan las demás?, ¿cómo funciona la condición de frontera cíclica?

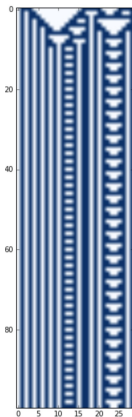
Ejemplos (Programa “Autómatas Celulares”)

Regla 90, E_0 = “central”



Ejemplos (Programa “Autómatas Celulares”)

Regla 94, $E_0 = "0111000000000001111100001111"$



Ejemplos (Programa “Autómatas Celulares”)

Regla 135, E_0 = “azar”



Clasificación de Wolfram

- Uniforme
- Cíclico
- Aleatorio
- Complejo

Clasificación de Wolfram

- Uniforme
- Cíclico
- Aleatorio
- Complejo

Clasificación de Wolfram

- Uniforme
- Cíclico
- Aleatorio
- Complejo

Clasificación de Wolfram

- Uniforme
- Cíclico
- Aleatorio
- Complejo

Autómatas en 2D: El juego de la vida

- El conjunto de símbolos es $\sigma = \{0, 1\}$, significando 0="muerta", 1="viva"
- E_0 , y todos los demás estados, están dispuestos en una parrilla 2D de celdas
- La vecindad mide $\rho = (3, 3)$, es un cuadro de 3×3 símbolos
- La regla de evolución para el siguiente estado, asigna a la celda central el valor:
 - "viva", si la celda central esta "muerta" y hay exactamente 3 vecinos vivos
 - "muerta", si la celda central está "viva" y más de 3 (sobrepoblación) o menos de 2 (soledad) vecinos están vivos
 - En cualquier otro caso, la celda mantiene su símbolo

Autómatas en 2D: El juego de la vida

- El conjunto de símbolos es $\sigma = \{0, 1\}$, significando 0="muerta", 1="viva"
- E_0 , y todos los demás estados, están dispuestos en una parrilla 2D de celdas
- La vecindad mide $\rho = (3, 3)$, es un cuadro de 3×3 símbolos
- La regla de evolución para el siguiente estado, asigna a la celda central el valor:
 - "viva", si la celda central esta "muerta" y hay exactamente 3 vecinos vivos
 - "muerta", si la celda central está "viva" y más de 3 (sobrepoblación) o menos de 2 (soledad) vecinos están vivos
 - En cualquier otro caso, la celda mantiene su símbolo

Autómatas en 2D: El juego de la vida

- El conjunto de símbolos es $\sigma = \{0, 1\}$, significando 0="muerta", 1="viva"
- E_0 , y todos los demás estados, están dispuestos en una parrilla 2D de celdas
- La vecindad mide $\rho = (3, 3)$, es un cuadro de 3×3 símbolos
- La regla de evolución para el siguiente estado, asigna a la celda central el valor:
 - "viva", si la celda central esta "muerta" y hay exactamente 3 vecinos vivos
 - "muerta", si la celda central está "viva" y más de 3 (sobrepoblación) o menos de 2 (soledad) vecinos están vivos
 - En cualquier otro caso, la celda mantiene su símbolo

Autómatas en 2D: El juego de la vida

- El conjunto de símbolos es $\sigma = \{0, 1\}$, significando 0="muerta", 1="viva"
- E_0 , y todos los demás estados, están dispuestos en una parrilla 2D de celdas
- La vecindad mide $\rho = (3, 3)$, es un cuadro de 3×3 símbolos
- La regla de evolución para el siguiente estado, asigna a la celda central el valor:
 - "viva", si la celda central esta "muerta" y hay exactamente 3 vecinos vivos
 - "muerta", si la celda central está "viva" y más de 3 (sobrepoblación) o menos de 2 (soledad) vecinos están vivos
 - En cualquier otro caso, la celda mantiene su símbolo

Autómatas en 2D: El juego de la vida

- El conjunto de símbolos es $\sigma = \{0, 1\}$, significando 0="muerta", 1="viva"
- E_0 , y todos los demás estados, están dispuestos en una parrilla 2D de celdas
- La vecindad mide $\rho = (3, 3)$, es un cuadro de 3×3 símbolos
- La regla de evolución para el siguiente estado, asigna a la celda central el valor:
 - "viva", si la celda central esta "muerta" y hay exactamente 3 vecinos vivos
 - "muerta", si la celda central está "viva" y más de 3 (sobrepoblación) o menos de 2 (soledad) vecinos están vivos
 - En cualquier otro caso, la celda mantiene su símbolo

Autómatas en 2D: El juego de la vida

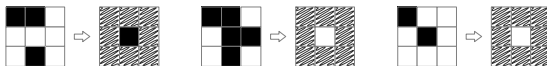
- El conjunto de símbolos es $\sigma = \{0, 1\}$, significando 0="muerta", 1="viva"
- E_0 , y todos los demás estados, están dispuestos en una parrilla 2D de celdas
- La vecindad mide $\rho = (3, 3)$, es un cuadro de 3×3 símbolos
- La regla de evolución para el siguiente estado, asigna a la celda central el valor:
 - "viva", si la celda central esta "muerta" y hay exactamente 3 vecinos vivos
 - "muerta", si la celda central está "viva" y más de 3 (sobrepoblación) o menos de 2 (soledad) vecinos están vivos
 - En cualquier otro caso, la celda mantiene su símbolo

Autómatas en 2D: El juego de la vida

- El conjunto de símbolos es $\sigma = \{0, 1\}$, significando 0="muerta", 1="viva"
- E_0 , y todos los demás estados, están dispuestos en una parrilla 2D de celdas
- La vecindad mide $\rho = (3, 3)$, es un cuadro de 3×3 símbolos
- La regla de evolución para el siguiente estado, asigna a la celda central el valor:
 - "viva", si la celda central esta "muerta" y hay exactamente 3 vecinos vivos
 - "muerta", si la celda central está "viva" y más de 3 (sobrepoblación) o menos de 2 (soledad) vecinos están vivos
 - En cualquier otro caso, la celda mantiene su símbolo

Autómatas en 2D: El juego de la vida

- El conjunto de símbolos es $\sigma = \{0, 1\}$, significando 0="muerta", 1="viva"
- E_0 , y todos los demás estados, están dispuestos en una parrilla 2D de celdas
- La vecindad mide $\rho = (3, 3)$, es un cuadro de 3×3 símbolos
- La regla de evolución para el siguiente estado, asigna a la celda central el valor:
 - "viva", si la celda central esta "muerta" y hay exactamente 3 vecinos vivos
 - "muerta", si la celda central está "viva" y más de 3 (sobrepoblación) o menos de 2 (soledad) vecinos están vivos
 - En cualquier otro caso, la celda mantiene su símbolo



Autómatas en 2D: Regla de la mayoría

- La vida o muerte de la celda central está dictada por el valor de la mayoría de las celdas de su vecindad de Moore



Vecindad de Moore

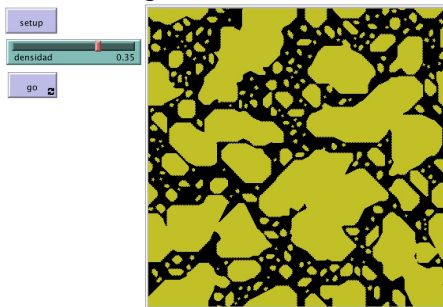


Vecindad de von Neumann

Autómatas en 2D: Regla de la mayoría

- La vida o muerte de la celda central está dictada por el valor de la mayoría de las celdas de su vecindad de Moore

Programa “Manchas”



Autómatas en 2D: Patrones de Turing

Programa “Fur” (biblioteca de modelos de Netlogo)

