

Sean conjuntos de agentes que interactúan en un entorno definido, circular o poligonal, conforme el Modelo de Ising en 2 dimensiones:

1. Programar el modelo de Ising, con spines (agentes) tales que: (1 puntos)
 - a. Los conjuntos A1 y A2 de cardinalidad n y m, cooperan entre sí, respectivamente.
 - b. A1 y A2 compiten entre sí, conforme el modelo de Ising.
 - c. Entradas de cada conjunto dada por función de distribución uniforme.
 - d. Hay factores externos μ_1 y μ_2 cuyos eventos ocurren conforme una distribución normal.
2. Con entradas dadas por una distribución normal de probabilidades. Interpretar talque: (2.5 puntos)
 - a. A1 es cáncer, C.
 - b. A2 es sistema inmune, SI.
 - c. El factor μ_1 es favorable a desarrollo de C, y un μ_2 favorable al SI.
3. Simulaciones: definir y diseñar 3 escenarios: (2.5 puntos)
 - a. A1 + μ_1 gana o escapa a A2 + μ_2 .
 - b. A1 + μ_1 y A2 + μ_2 están en equilibrio.
 - c. A2 + μ_2 gana o elimina a A1 + μ_1 .

Solución:

El modelo se llevó acabo en una topología toriodal.
Se uso el siguiente modelo de ISING:

$$H = -J \sum_{\langle i,j \rangle} \mu_i \sigma_i \sigma_j$$

donde:

- J Factor de interacción cuando es $J > 0$ antiferromagnetico, $J = 0$ no hay interacción (puede ser considerado como el punto 1.a. cooperan entre sí, es decir que no van a cambiar de spin), $J < 0$ magnetización (Es el punto que nos interesa ya que se van a formar los patrones).
- μ_i Es cosiderado como un peso que va a favorecer a alguno de los spines, para μ_1 se favorece a los spines (1) y μ_2 a los spines (-1). Ahora pueden ser tomadas de una distribución uniforme o normal.
- $\sigma_i \sigma_j$ son los spines i y j cada uno puede tomar el valor {1, -1}.

No se consideran fuerzas externas que afecten al sistema. Donde la suma de los vecinos más cercanos usando la alineación Von Neumann:

(x-1,y+1)	(x, y+1)	(x+1, y+1)
(x-1,y)	(x, y)	(x+1, y)
(x-1,y-1)	(x, y-1)	(x+1, y-1)

Figura 1: Alineación Von Neumann, cuadros naranjas son los vecinos mas cercanos de (x,y)

Para codificarlo se usó el Algoritmo Metrópolis:

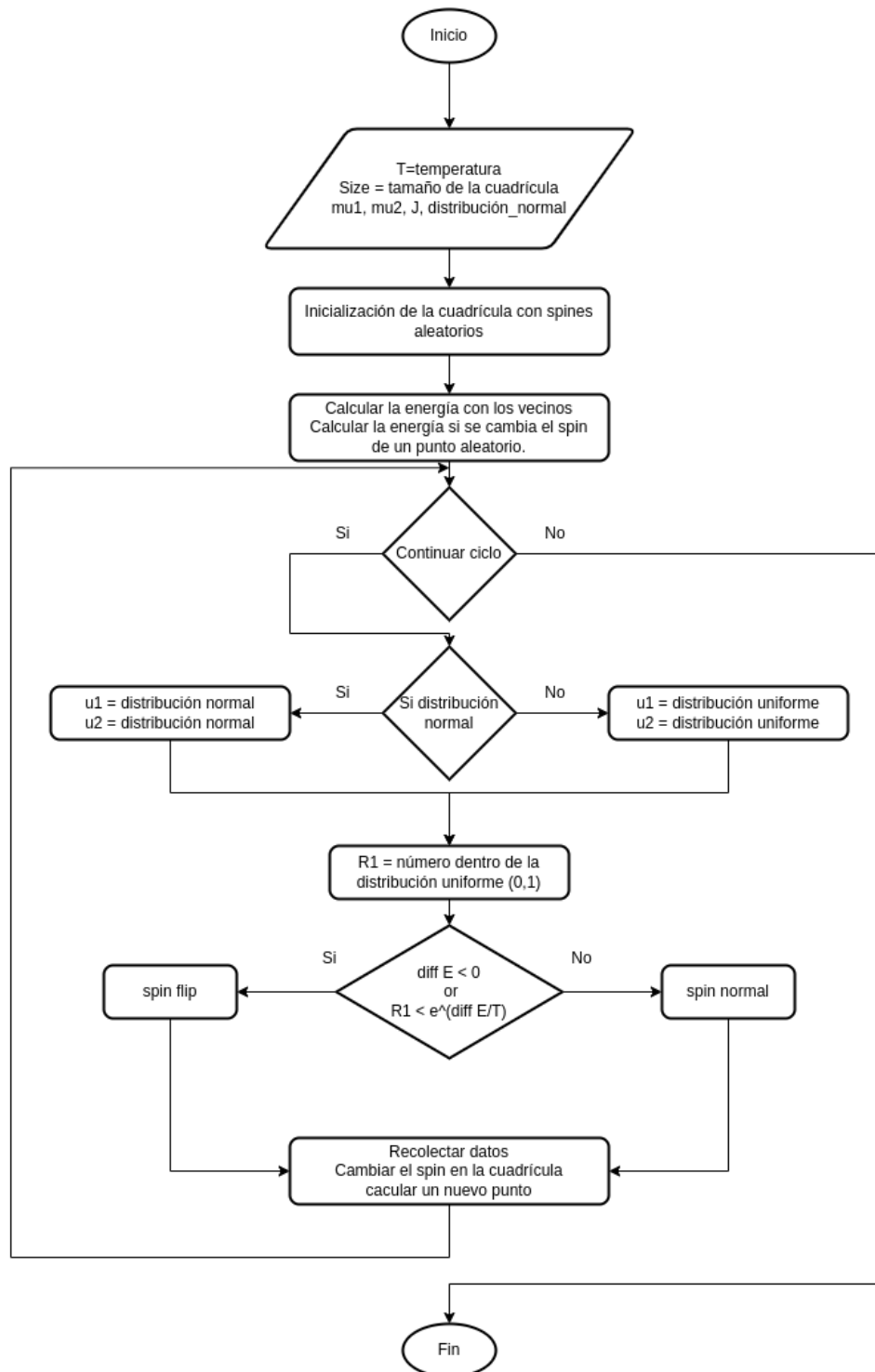


Figura 2: Diagrama de Flujo de Algoritmo Metrópolis

1 a. Para este se establece $J=0$ ya que no habrá interacción es decir que los dos cooperan si no se están cambiando los spines con respecto del tiempo.

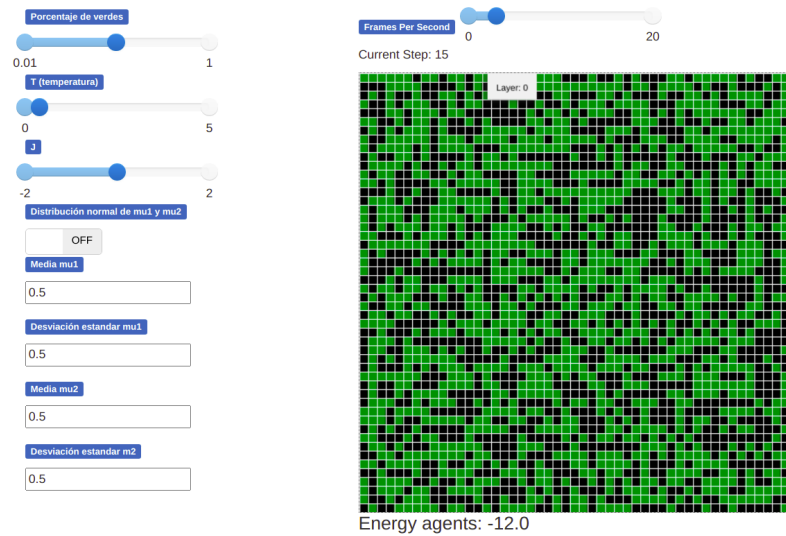


Figura 3: 1.a. A1 representa al 70 % cuando es $J=0$ no se ven interacciones es entre Verdes y negras

1.b y 1.c : Cuando es el modelo de ISING se tiene que establecer $J < 0$, es cuando los patrones van surgiendo entonces A1 y A2 van a competir, en este caso se puede observar como una segregación de verdes y negras. Las entradas R1 son calculadas con número aleatorios de (0 a 1) usando el algoritmo Metropolis. μ_1 y $\mu_1 = 1$ para que ambas poblaciones estén balanceadas. En este caso debido a que u_1 y u_2 son tomadas de una distribución uniforme crea un mayor desorden por lo que al comparar con la versión 1 no se ve una segregación tan marcada.

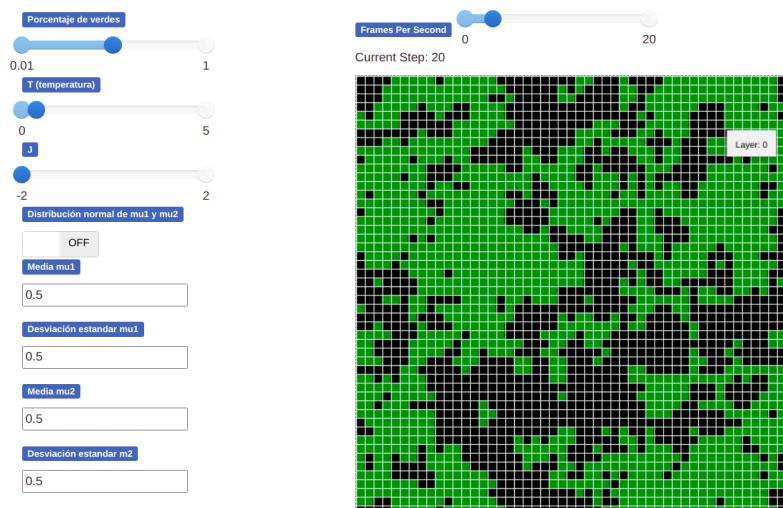


Figura 4: Competencia conforme al modelo Ising, entradas uniformes, 10 pasos, con una población inicial de A1 igual a A2

1.d se selecciona las entradas normales poniendo en ON en normal. Se establece la media de μ_1 y μ_2 al igual que su desviación estándar. Como se puede notar al alimentar datos de una distribución normal normal los patrones se pueden formar y se observa una segregación comparado con los datos normales.

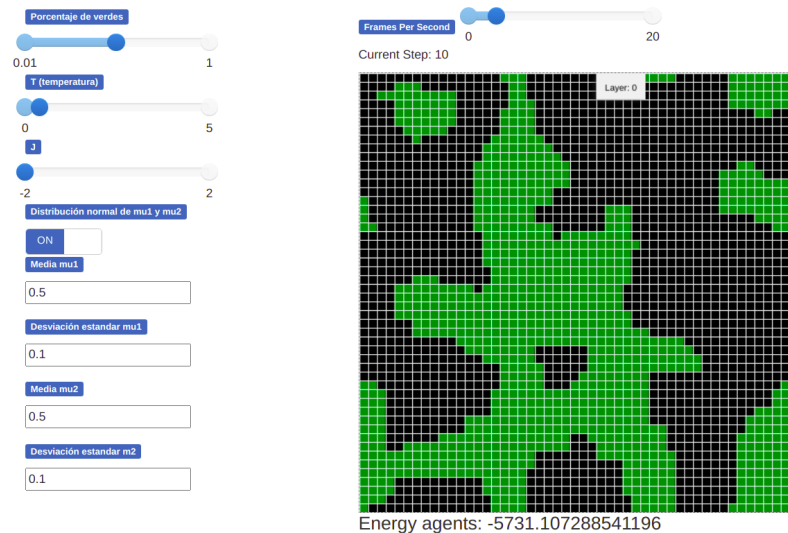


Figura 5: Distribución uniforme, μ_1 y μ_2 están balanceadas. ambas con desviación estándar 0.1 y media en 0.5

2. Con entradas dadas por una distribución normal de probabilidades. Interpretar talque: (2.5 puntos)

a. A1 es cáncer, C.

A1 son las celdas verdes, no debe de interpretarse que cuando una celda cambia de spin(color) la célula se va a transformar en una célula del sistema Inmune, si no: cuando una celda pase de negro a verde podría significar que las células cancerígenas están engañando al sistema inmune al no ser detectadas, por lo tanto puede reproducirse con facilidad, que es un tipo de cáncer muy agresivo que el sistema inmune es ineficiente contra él, o que se está inmunodeprimido.

b. A2 es sistema inmune, SI.

A2 son las células del sistema inmune, se puede interpretar que si una cambia de color verde a negro, que la célula del SI fue capaz de eliminar una célula cancerosa y que se reclutan más células del SI al foco del tumor para eliminarlo, cuando se detecta una célula cancerosa.

c. El factor μ_1 es favorable a desarrollo de C, y un μ_2 favorable al SI.

En esta modelación cuando $\mu_1 > \mu_2$ las células cancerosas se favorecen, Con entradas normales ahora se puede interpretar que μ_1 puede tener un efecto medio en cada célula cancerosa.

μ_1 interpretarse como :

- Exposición a algún agente carcinógeno.
- Algún hábito como tabaquismo.
- Tal vez el tumor hizo angiogenesis.
- O algún inmunosupresor.

Si $\mu_1 < \mu_2$ el SI se favorece. De igual forma μ_2 tiene una acción promedio en el sistema inmune. μ_2 podría ser:

- Algún medicamento de quimioterapia, que elimina el cáncer aunque también afecta a todas las células neoplásicas como el SI.
- Alguna terapia de la medicina personalizada que permita al SI identificar a las células cancerosas.
- Alguna hormona, molécula, que promueva la creación de nuevas células, (interleucinas, interferones, factores, etc).

3. Simulaciones: definir y diseñar 3 escenarios: (2.5 puntos)

a. $A_1 + \mu_1$ gana o escapa a $A_2 + \mu_2$.

Como se menciona siempre se puede tener este escenario si $\mu_1 > \mu_2$. Se puede observar en la figura 6 que ahora no es tan sensible a las variaciones de u_1 , ya que ahora u_1 es determinada por una distribución normal.



Figura 6: Las células cancerosas van ganando en pocos pasos (6), iniciando con la misma cantidad de A_1 y A_2 , con entradas normales, misma desviación estándar, media $\mu_1=0.8$, media $\mu_2=0.7$

b. $A1 + \mu1$ y $A2 + \mu2$ están en equilibrio.

Como se menciona siempre se puede tener este escenario si $\mu1 = \mu2$.

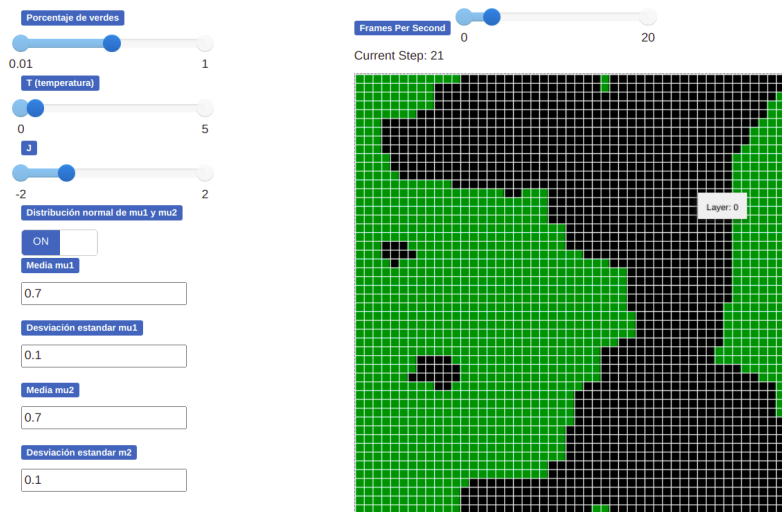


Figura 7: Distribución uniforme, $\mu1$ y $\mu2$ están balanceadas. ambas con desviación estándar 0.1 y media en 0.7, con 21 pasos

c. $A2 + \mu2$ gana o elimina a $A1 + \mu1$.

Como se menciona siempre se puede tener este escenario si $\mu1 < \mu2$. Caso similar al a.

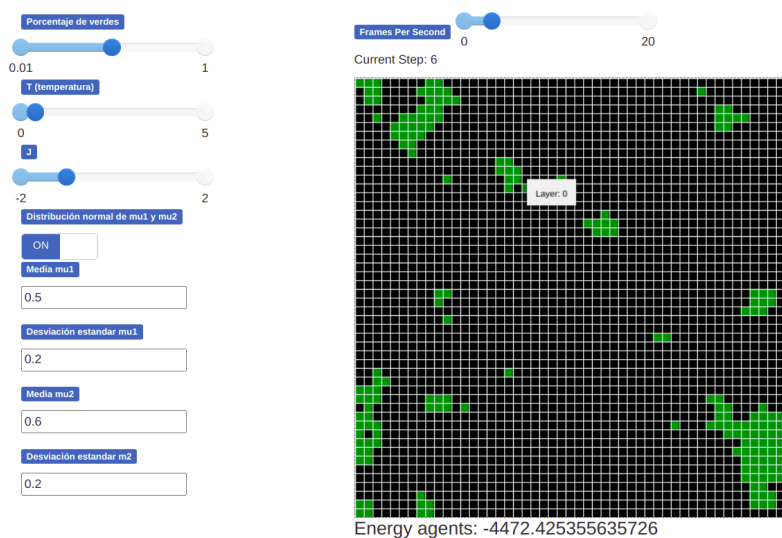


Figura 8: Las células del SI en pocos pasos van controlando el cáncer (6), iniciando con la misma cantidad de $A1$ y $A2$, con entradas normales, misma desviación estándar = 0.2, media $\mu1=0.5$, media $\mu2=0.6$