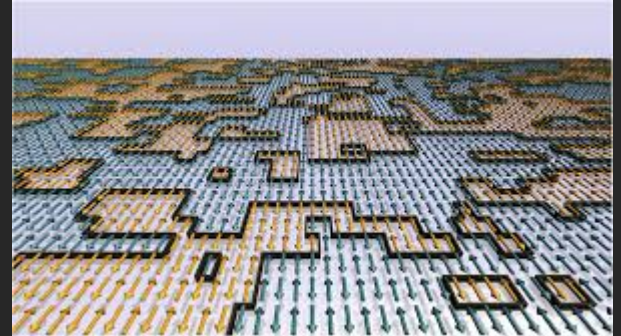


# Frustración magnética



27 de Mayo de 2021

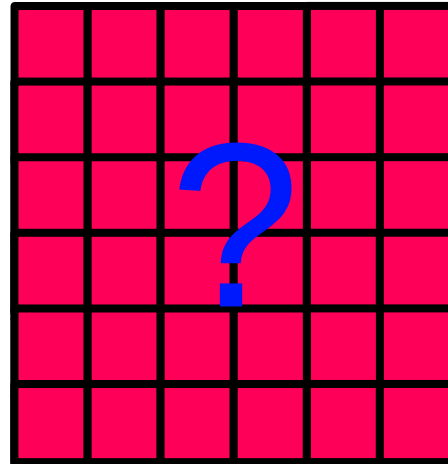
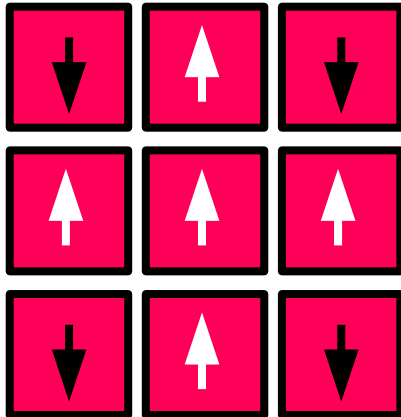
## ¿Que vamos a simular?

- (e) Haga lo propio para un modelo en el cual cada spin  $s_i$  interactúa ferromagnéticamente con sus primeros vecinos y antiferromagnéticamente con sus cuatro segundos vecinos (diagonales). Explique el fenómeno de *frustración*.

Primeros vecinos: ferromagnético ( $J>0$ )

Segundos vecinos: antiferromagnético ( $J<0$ )

$$E_i = -|J|s_i(s_1 + s_2 + s_3 + s_4) + |J|s_i(s'_1 + s'_2 + s'_3 + s'_4)$$



# Algoritmo de Metropolis

## flip()

Elegido un spin (azul) nos fijamos cuales son sus vecinos inmediatos (primeros vecinos).

Elegido =  $\text{fila} * L + \text{columna}$

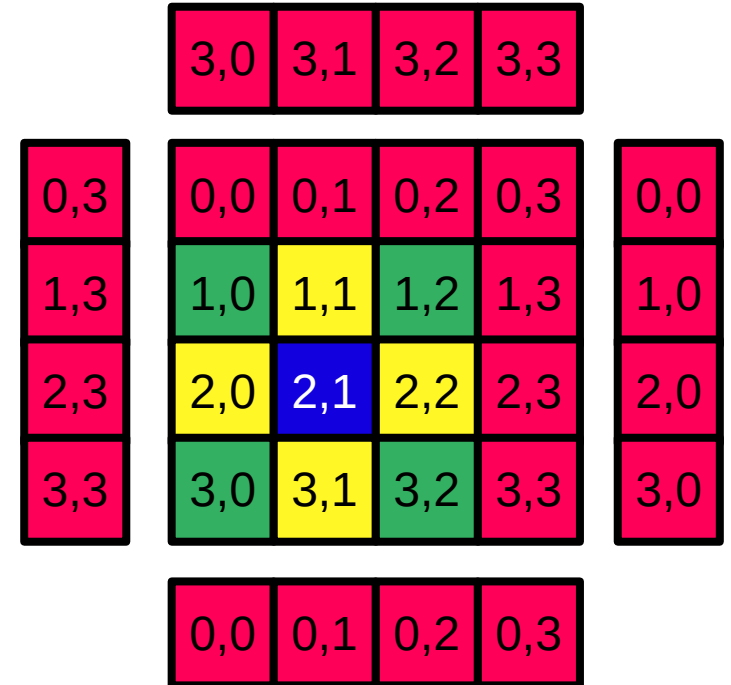
Debemos actualizar “fila” y “columna”:

$\text{fila\_abajo} = (\text{fila} + 1 + L) \% L;$      $1 \% 4 = 1, 2 \% 4 = 2, 7 \% 4 = 3$

$\text{fila\_arriba} = (\text{fila} - 1 + L) \% L;$

$\text{columna\_izquierda} = (\text{columna} - 1 + L) \% L;$

$\text{columna\_derecha} = (\text{columna} + 1 + L) \% L;$



# Algoritmo de Metropolis

**flip()**

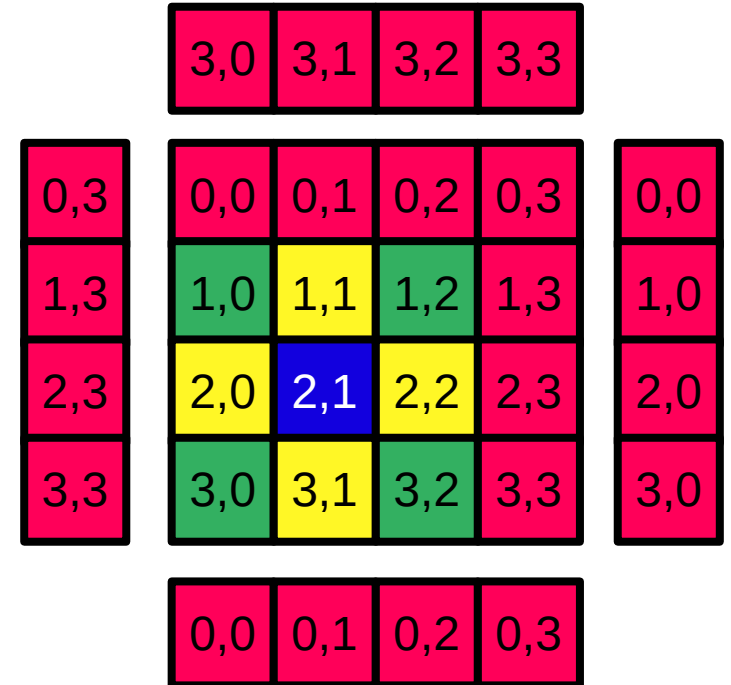
Elegido =  $\text{fila} * L + \text{columna}$

Celda\_abajo =  $\text{fila\_abajo} * L + \text{columna}$ ;  
Celda\_arriba =  $\text{fila\_arriba} * L + \text{columna}$ ;

Celda\_izquierda =  $\text{fila} * L + \text{columna\_izquierda}$ ;  
Celda\_derecha =  $\text{fila} * L + \text{columna\_derecha}$ ;

Celda\_di\_ab\_izq =  $\text{fila\_abajo} * L + \text{columna\_izquierda}$ ;  
Celda\_di\_ab\_der =  $\text{fila\_abajo} * L + \text{columna\_derecha}$ ;

Celda\_di\_ar\_izq =  $\text{fila\_arriba} * L + \text{columna\_izquierda}$ ;  
Celda\_di\_ar\_der =  $\text{fila\_arriba} * L + \text{columna\_derecha}$ ;



# Algoritmo de Metropolis

**flip()**

Primeros vecinos: ferromagnético ( $J>0$ )

Segundos vecinos: antiferromagnético ( $J<0$ )

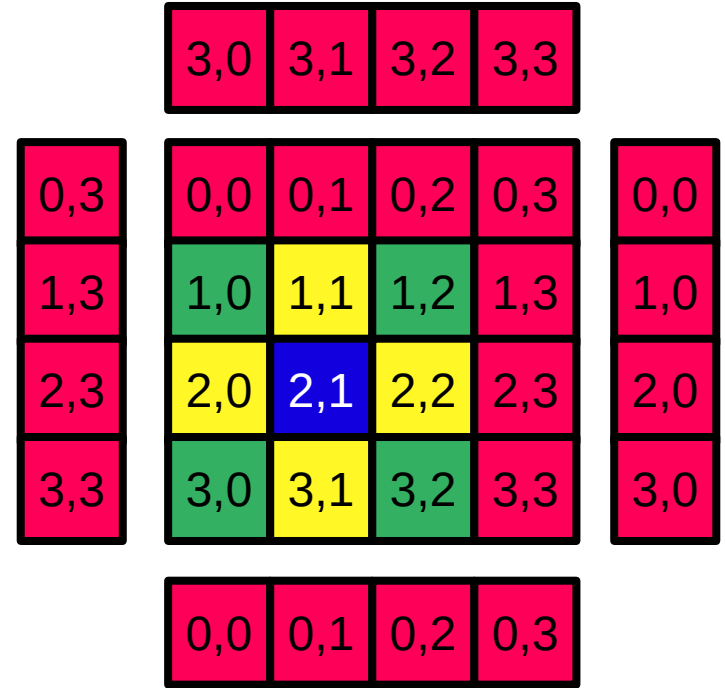
Primeros vecinos

Segundos vecinos

$$E_i = -|J|s_i(s_1 + s_2 + s_3 + s_4) + |J|s_i(s'_1 + s'_2 + s'_3 + s'_4)$$

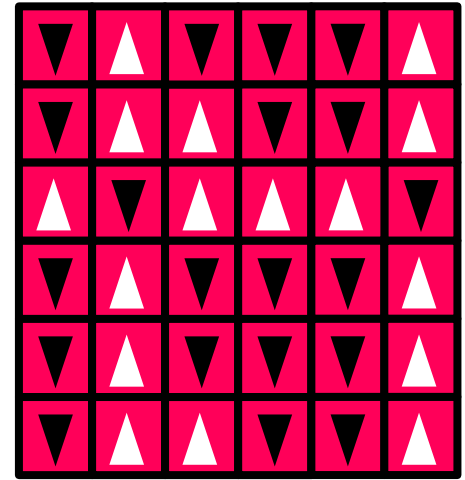
$$E_i = -|J|s_i(s_1 + s_2 + s_3 + s_4 - s'_1 - s'_2 - s'_3 - s'_4)$$

$$\Delta E_i = -2E_i$$



# creo\_tabla()

Es la energía de interacción con los vecinos (no es la energía total del sistema)



$$E_i = -|J|s_i(s_1 + s_2 + s_3 + s_4 - s'_1 - s'_2 - s'_3 - s'_4)$$

$$\Delta E_i = -2E_i$$

$E_i$	$-8 J $	$-6 J $	$-4 J $	$-2 J $	$0$	$2 J $	$4 J $	$6 J $	$8 J $
-------	---------	---------	---------	---------	-----	--------	--------	--------	--------

$\Delta E_i$	$16 J $	$12 J $	$8 J $	$4 J $	$0$	$-4 J $	$-8 J $	$-12 J $	$-16 J $
--------------	---------	---------	--------	--------	-----	---------	---------	----------	----------

```
for (int i = 0; i < 9; i++)
{
    dE = -2j*(2*i-8); //j=1
    exponente = (float)(dE)/T;
    vec_exp[i]=exp(-exponente);
}
```

$$p_{ij} = e^{-\beta\Delta E}$$

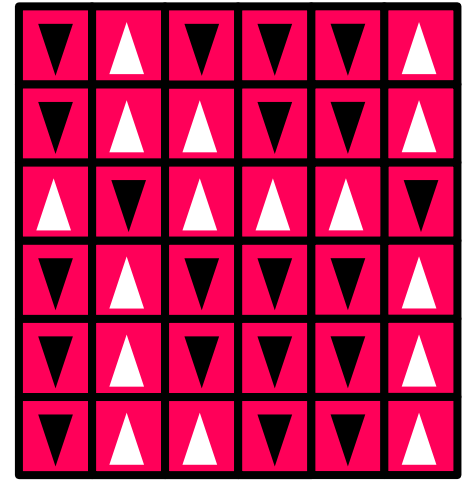
# Accediendo a la tabla

Es la energía de interacción con los vecinos (no es la energía total del sistema)

↑

$$E_i = -|J|s_i(s_1 + s_2 + s_3 + s_4 - s'_1 - s'_2 - s'_3 - s'_4)$$

$$\Delta E_i = -2E_i$$



$\Delta E_i$	$16 J $	$12 J $	$8 J $	$4 J $	$0$	$-4 J $	$-8 J $	$-12 J $	$-16 J $
--------------	---------	---------	--------	--------	-----	---------	---------	----------	----------

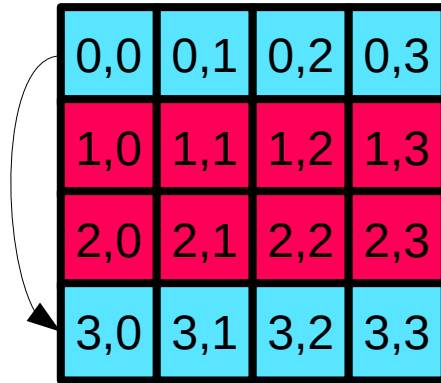
```
for (int i = 0; i < 9; i++)  
{  
    dE = -2j*(2*i-8); //j=1  
    exponente = (float)(dE)/T;  
    vec_exp[i]=exp(-exponente);  
}
```

```
p = vec_exp[dE/(-4)+4];
```

$$p_{ij} = e^{-\beta \Delta E}$$

# Energía inicial

Usamos bloques tipo “P” y “K” (loop desde 0 hasta L-1 tanto en filas como en columnas)



A 4x4 grid representing periodic boundary conditions. The top row (0,0 to 0,3) is highlighted in light blue. The bottom row (3,0 to 3,3) is highlighted in light blue. A curved arrow on the left side points from the top row down to the bottom row, and another curved arrow on the right side points from the bottom row up to the top row, indicating wrap-around.

0,0	0,1	0,2	0,3
1,0	1,1	1,2	1,3
2,0	2,1	2,2	2,3
3,0	3,1	3,2	3,3

Condiciones periódicas de contorno



A 4x4 grid where the central cell (1,1) is highlighted in yellow. Its four immediate neighbors (1,0), (1,2), (2,1), and (2,2) are highlighted in light blue. All other cells are pink.

0,0	0,1	0,2	0,3
1,0	1,1	1,2	1,3
2,0	2,1	2,2	2,3
3,0	3,1	3,2	3,3

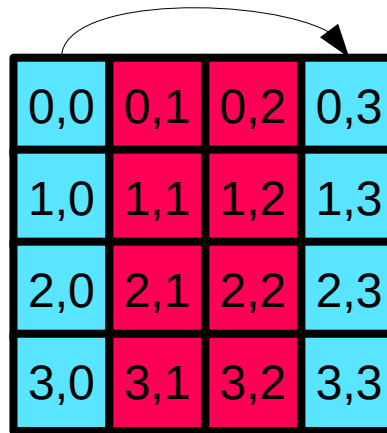
Primeros vecinos



A 4x4 grid where the central cell (1,1) is highlighted in yellow. Its eight second neighbors (0,0), (0,2), (2,0), (2,2), (1,0), (1,2), (0,1), and (1,1)) are highlighted in light blue. All other cells are pink.

0,0	0,1	0,2	0,3
1,0	1,1	1,2	1,3
2,0	2,1	2,2	2,3
3,0	3,1	3,2	3,3

Segundos vecinos



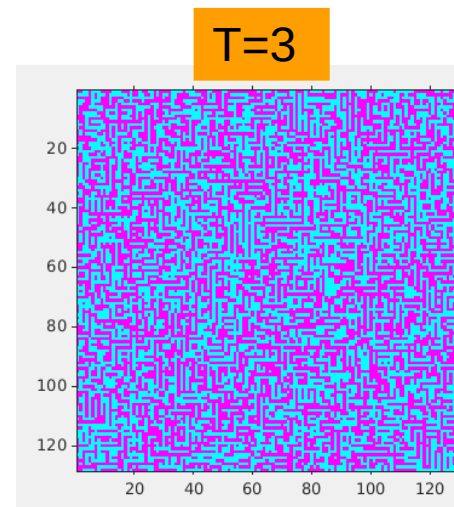
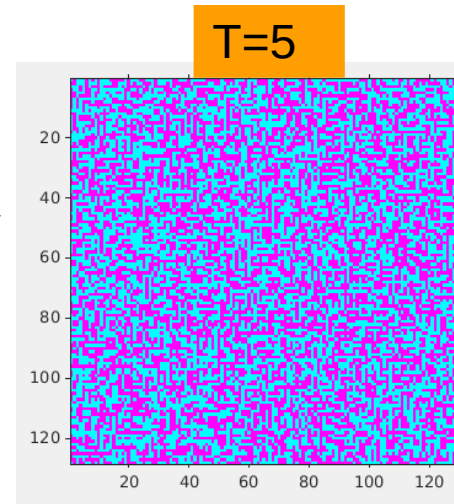
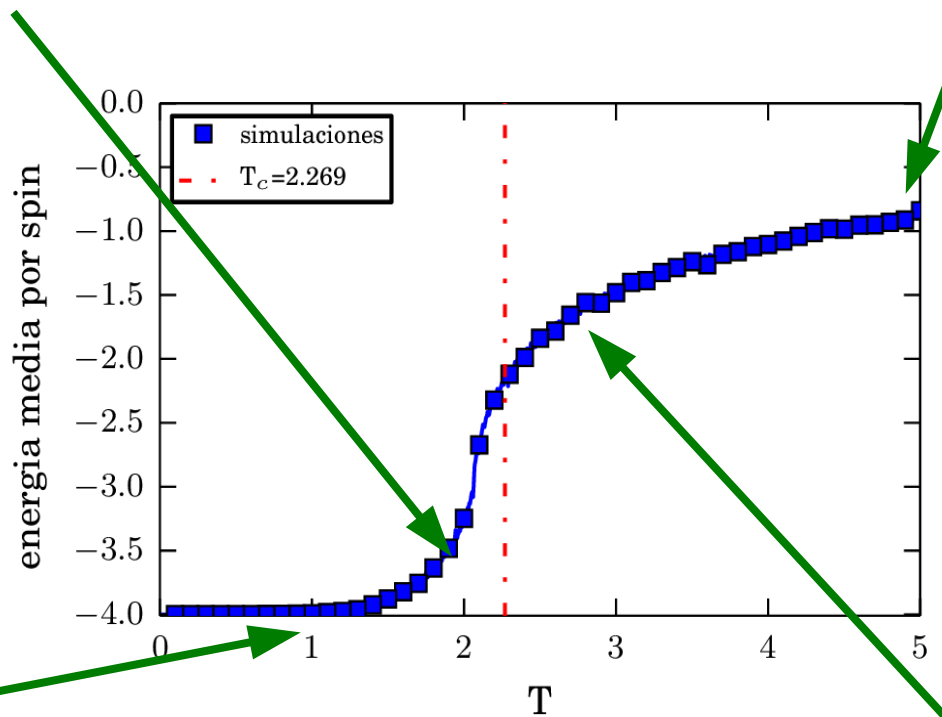
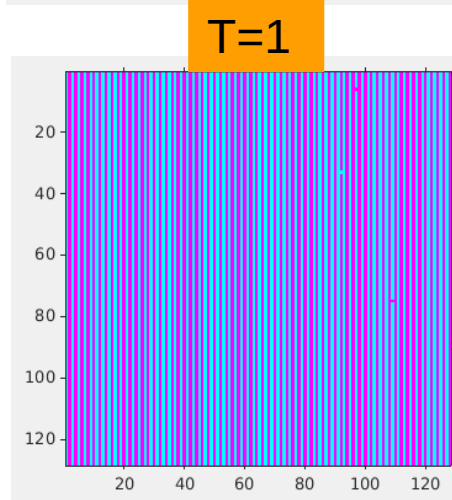
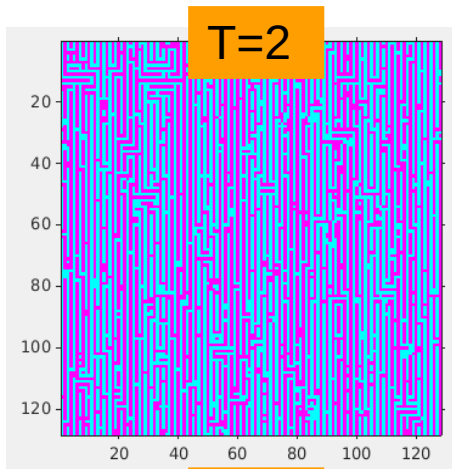
A 4x4 grid representing periodic boundary conditions. The top row (0,0 to 0,3) is highlighted in light blue. The bottom row (3,0 to 3,3) is highlighted in light blue. A curved arrow at the top points from the top row down to the bottom row, indicating wrap-around.

0,0	0,1	0,2	0,3
1,0	1,1	1,2	1,3
2,0	2,1	2,2	2,3
3,0	3,1	3,2	3,3

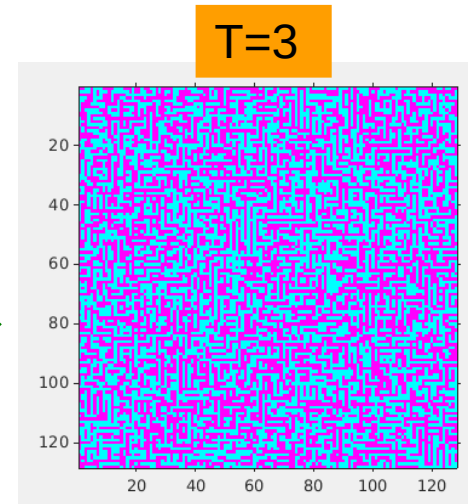
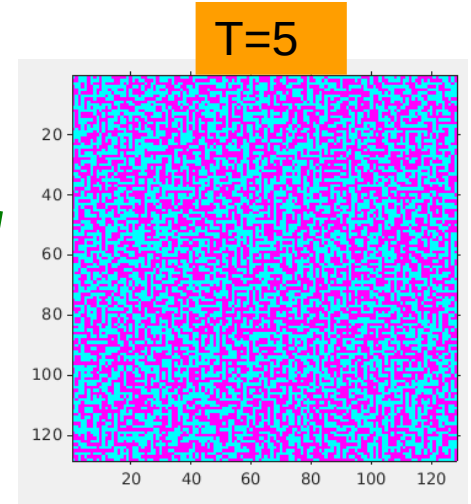
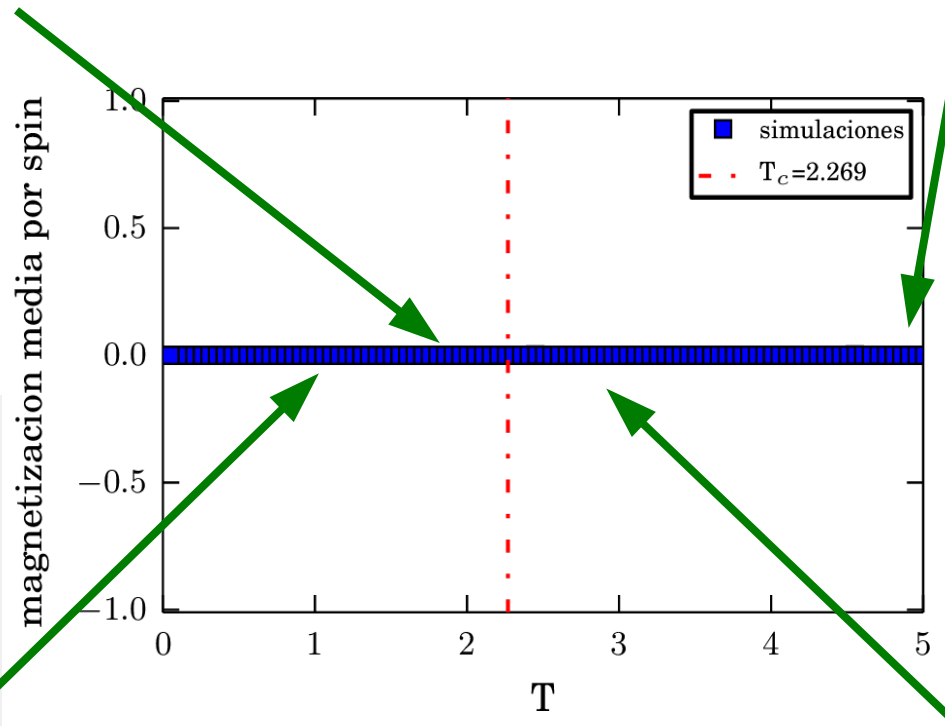
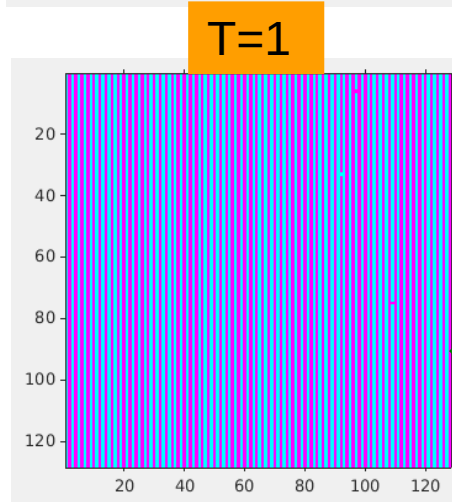
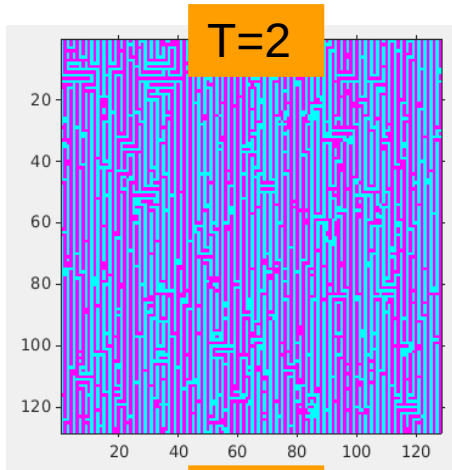
```
energia_inicial()
{
    loop filas y columnas
    {
        primeros_vecinos();
        segundos_vecinos();
    }
    condiciones_periodicas()
}
```



# Energía media del sistema (128x128, $j=1$ , $B=0$ )



# Magnetización media del sistema (128x128, $j=1$ , $B=0$ )



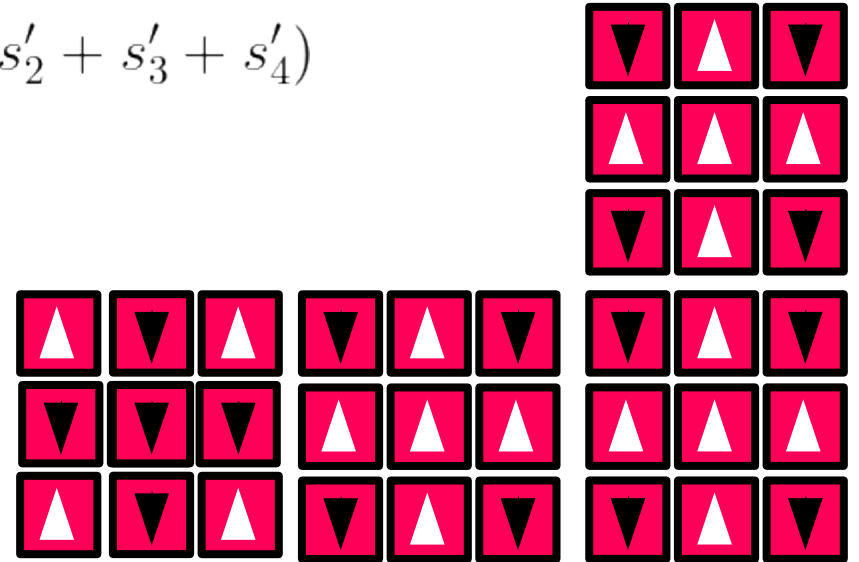
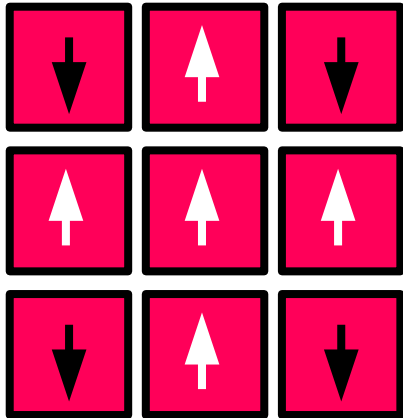
# Frustración magnética

No es posible hallar una configuración de espines que minimice la energía de todas las interacciones del sistema (spin glass)

Primeros vecinos: ferromagnético ( $J > 0$ )

Segundos vecinos: antiferromagnético ( $J < 0$ )

$$E_i = -|J|s_i(s_1 + s_2 + s_3 + s_4) + |J|s_i(s'_1 + s'_2 + s'_3 + s'_4)$$



# Pseudo-código para Ising

```
poblamos_red();

loop sobre temperaturas
{
    creo_tabla();
    calculo_E_inicial();
    calculo_M_inicial();

    termalizacion();

    loop sobre mediciones
    {
        loop sobre pasos de metropolis
        {
            metropolis();
        }
        vec_e[s] = energ;
        vec_m[s] = m;
    }
}
```

Me “aseguro” que  
estoy a esa  
temperatura

Para descorrelacionar  
las mediciones