Métodos Numéricos y de Simulación

TEMA 8

Autómatas Celulares y Fractales

Departamento de Electrónica y Electromagnetismo
Universidad de Sevilla

Indice

- Autómatas Celulares
- Fractales

¿Qué son los Autómatas Celulares?

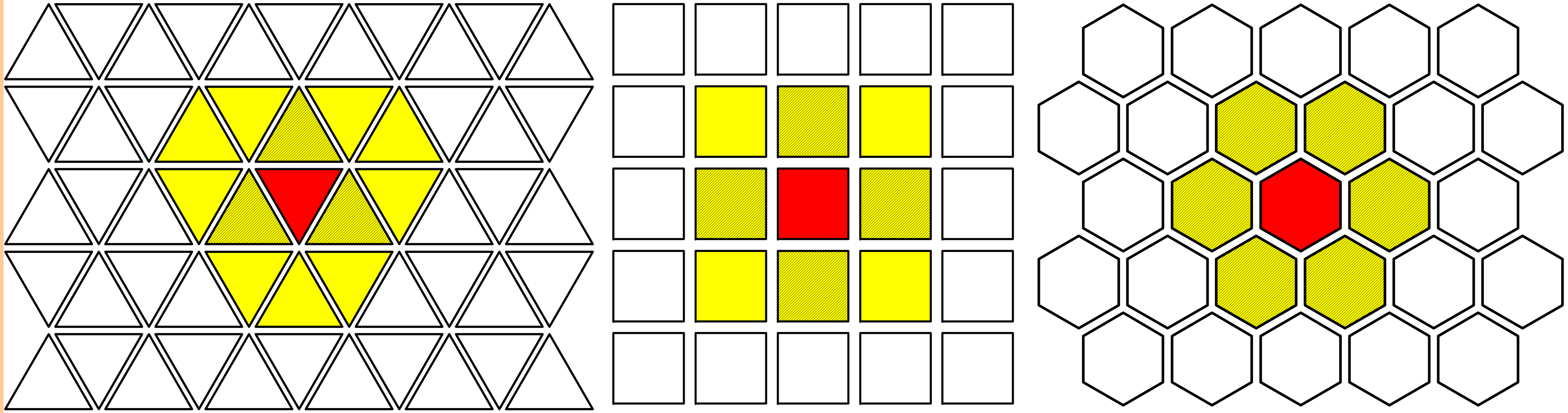
- Cellular automata (CA) – modelos simples para estudiar el comportamiento de sistemas complejos en diferentes campos de la ciencia (física, matemáticas, informática, química, biología, psicología, ciencias sociales, etc)
- CA son sistemas dinámicos discretos, cuya operación puede ser completamente descrita en términos de interacciones locales
- CA son el paradigma de la computación paralela

Definición de Autómata Celular

Autómata Celular *A* es un conjunto de 4 objetos $A = <G, Z, N, f>$, donde

- *G* – grid, conjunto de celdas
- *Z* – conjunto de posibles estados de celdas
- *N* – conjunto que describe el vecindario de las celdas
- *f* – función de transición, reglas del autómata:
  - $Z^{|N|+1} \rightarrow Z$ (para CAs “con memoria”)
  - $Z^{|N|} \rightarrow Z$ (para CAs “sin memoria”)

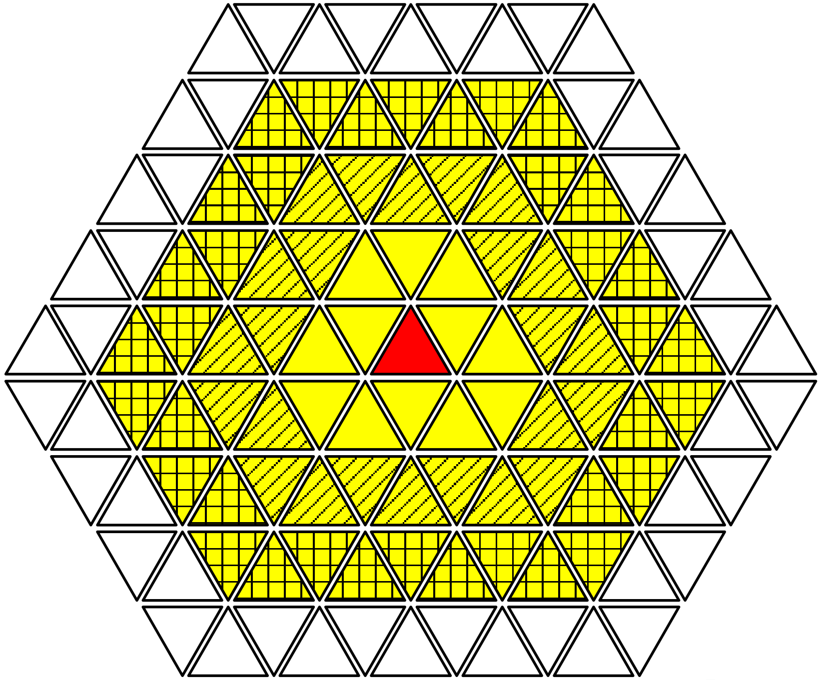
Ejemplos de Grid Bidimensional

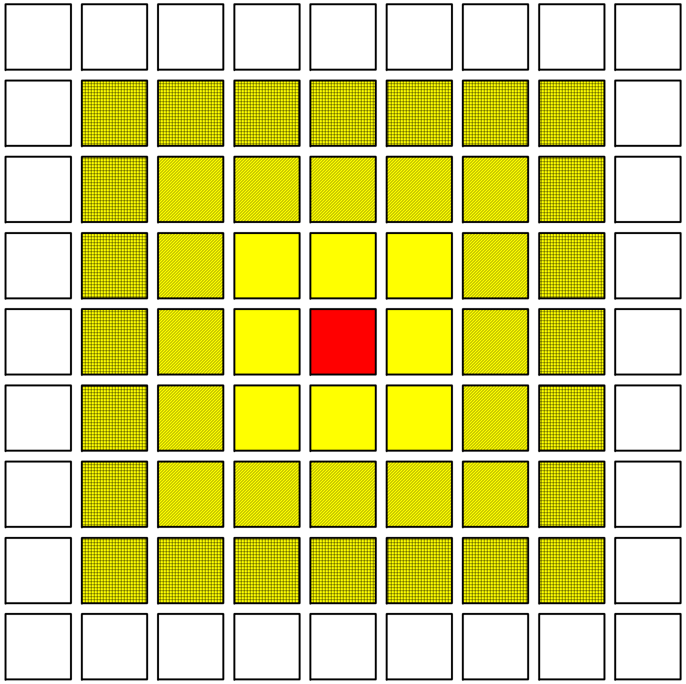


- Las celdas que tienen un eje común con una celda son sus "vecinos principales" (rayadas)
- El conjunto de vecinos de una celda *a*, que puede ser encontrado de acuerdo con *N*, se denota como *N*(*a*)

Anillos

- *R*(*a*,*i*) es el i-ésimo conjunto de celdas que rodean concéntricamente a una dada *a*
- La distancia entre dos celdas *a* y *b* es D(*a*,*b*)=*i*:*a*∈R(*b*,*i*)





Departamento de Electrónica y Electromagnetismo
Universidad de Sevilla

Propiedades básicas de los CAs

- La función de transición *f* es local
- El sistema es similar para todas las celdas
- Todas las celdas obtienen sus nuevos valores simultáneamente, tras un paso de tiempo discreto, después de que todos los nuevos valores fueron calculados para todas las celdas
- Sirven para expresar:
  - relaciones de vecindario
  - evolucion temporal

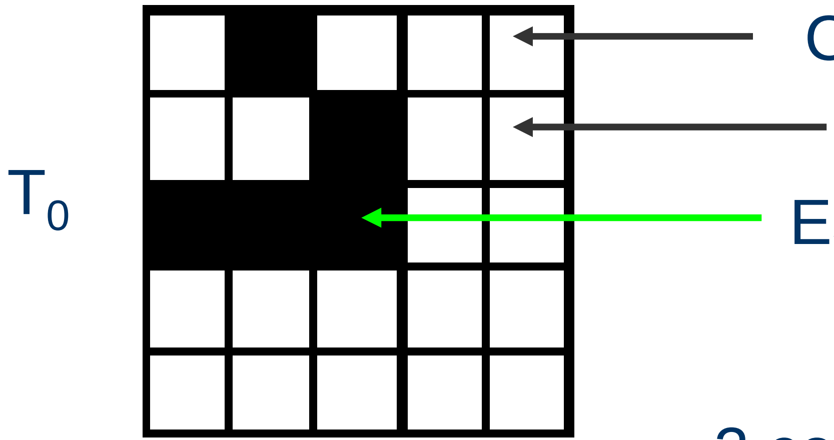
Aplicaciones de los CAs

- Paseo aleatorio (Movimiento Browniano, …)
- Difusión (Propagación de fuego, …)
- Computación bio-inspirada
  - Movimientos de hormigas
  - Juego de la vida
  - Relación predador-presa
- …

Juego de la vida (Conway, 1970)

- Estados de las celdas: Z=0 (muerta); Z=1 (viva)
- Reglas o función de transicion (f):
  1. Si una celda está "muerta" (Z=0) y exactamente tres de sus vecinas están "vivas" (Z=1) , entonces la celda "nace" (Z=1) en el siguiente paso de tiempo. En otro caso, sigue "muerta" (Z=0)
  2. Si una celda está viva (Z=1) y dos o tres de sus vecinas están vivas (Z=1) seguirá viva (Z=1) en el siguiente paso de tiempo. En otro caso, muere (Z=0)
- Un conjunto de reglas tan simple como este puede producir resultados impredecibles

Juego de la vida (Grid 5x5)



2 celdas mueren
2 celdas nacen
21 celdas siguen en su estado

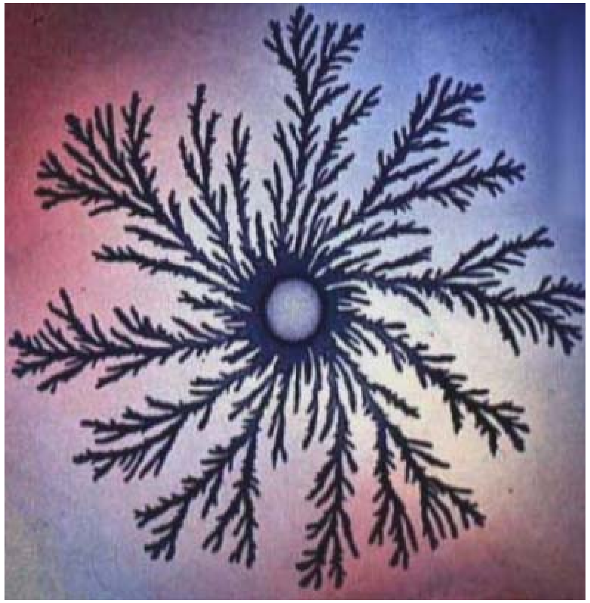
C:\Users\Usuario\
ıments\MATLAB\lii

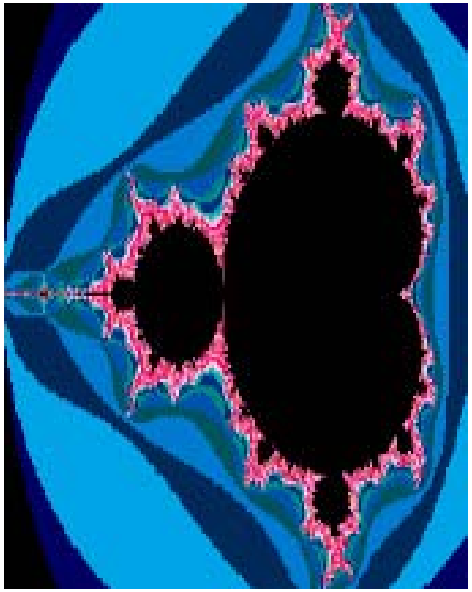
Tipos de resultados (Wolfram)

Dependiendo de la regla de transición, el número de celdas y la condición inicial, la evolución conduce a:

1. Un estado homogéneo
2. Un conjunto de estados estables separados o estructuras periódicas
3. Un patrón caótico
4. Estructuras complejas localizadas, incluso de larga vida

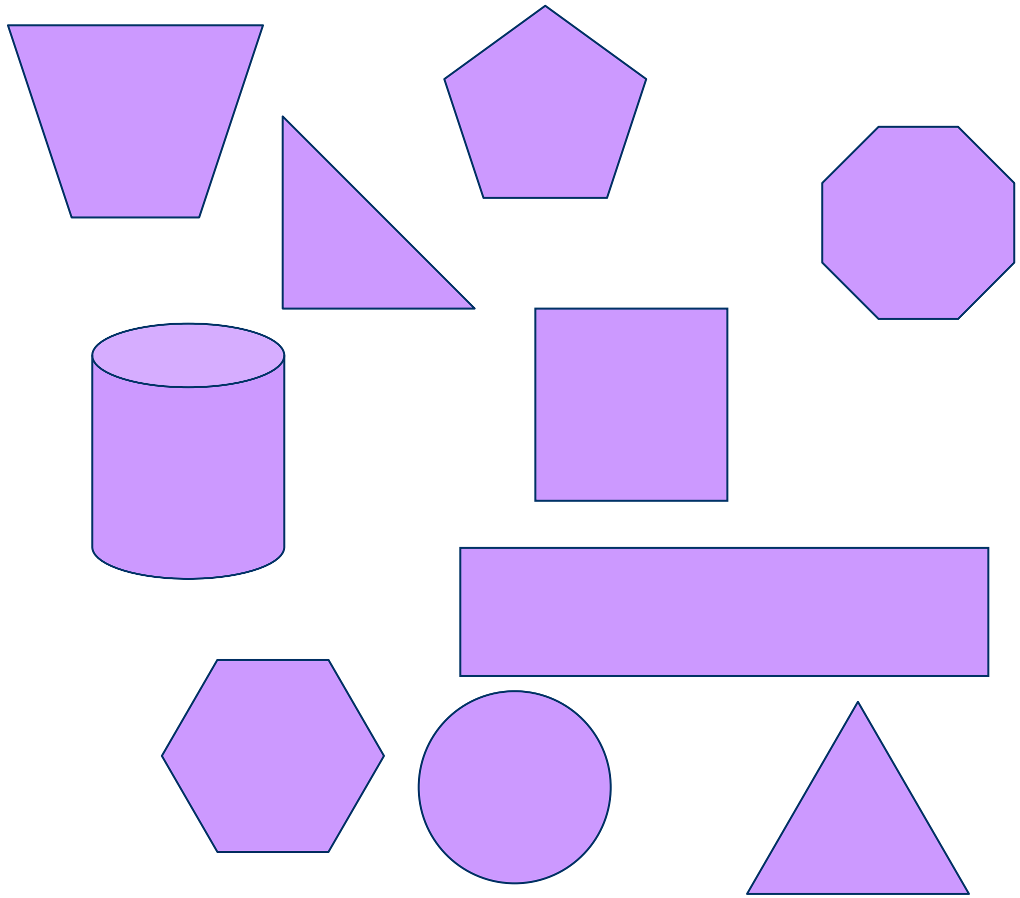
FRACTALES





Geometría Euclídea

- Triángulos
- Círculos
- Cuadrados
- Rectángulos
- Trapezoides
- Pentágonos
- Hexágonos
- Octágonos
- Cilindros



Departamento de Electrónica y Electromagnetismo
Universidad de Sevilla

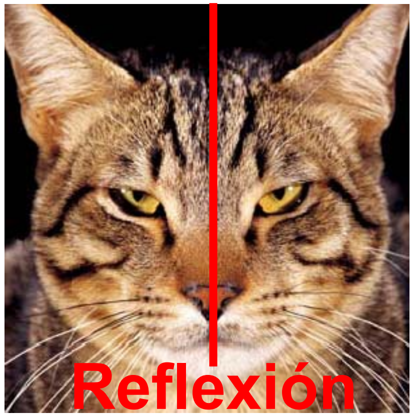
¿Cómo describir la Naturaleza sólo con la geometría euclídea?

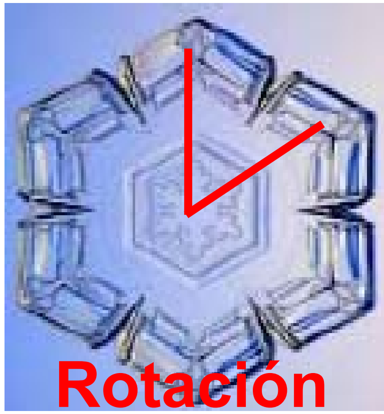
- ¿Arbol con cilindros?
- ¿Montañas con triángulos?
- ¿Nubes con círculos?
- ¿Hojas?
- ¿Rocas?

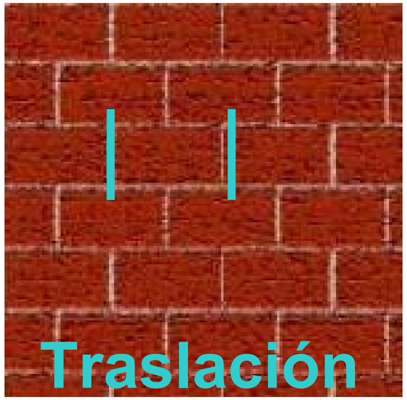
Formas irregulares y no uniformes

Departamento de Electrónica y Electromagnetismo
Universidad de Sevilla

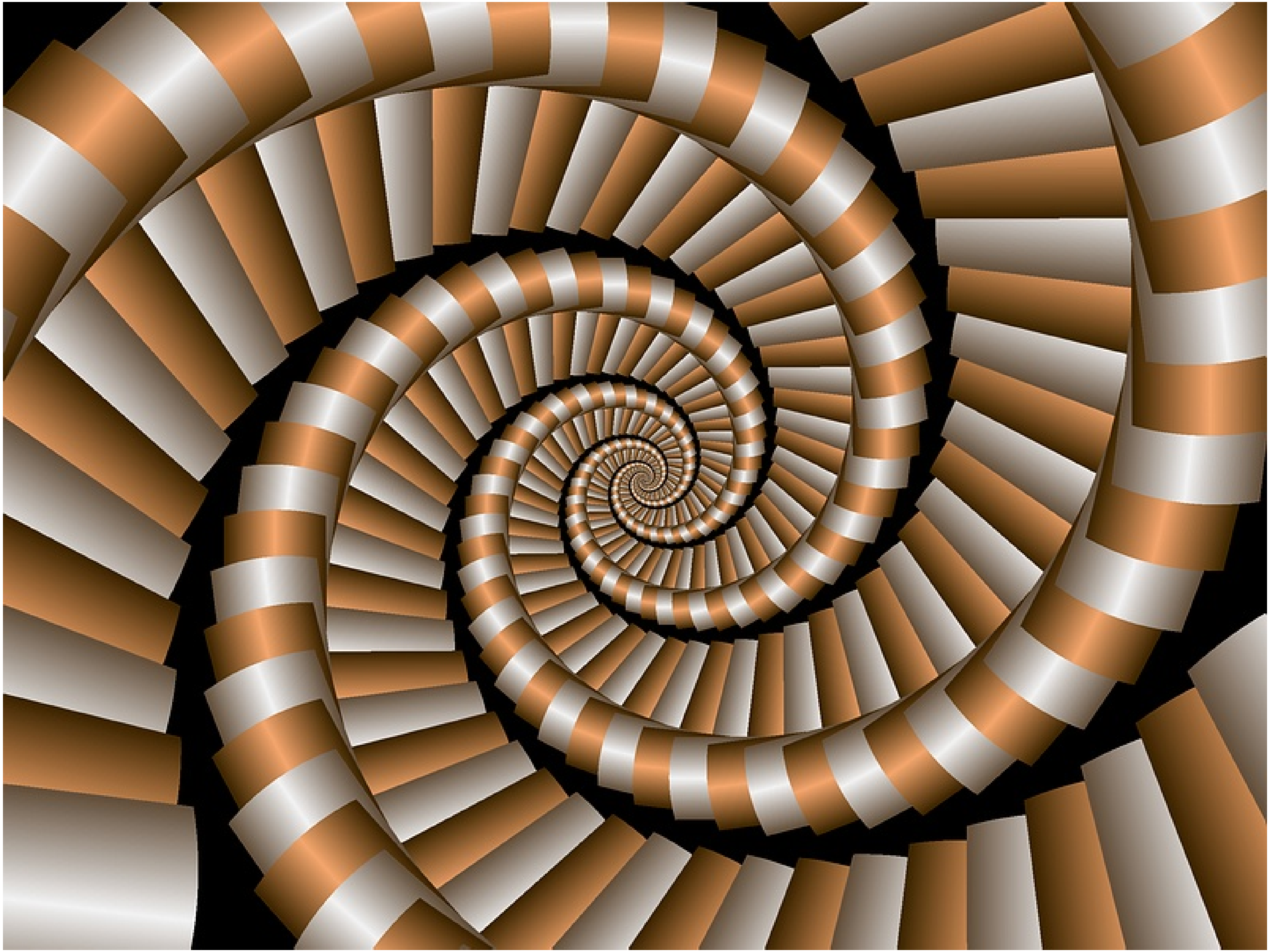
Tipos de Simetría

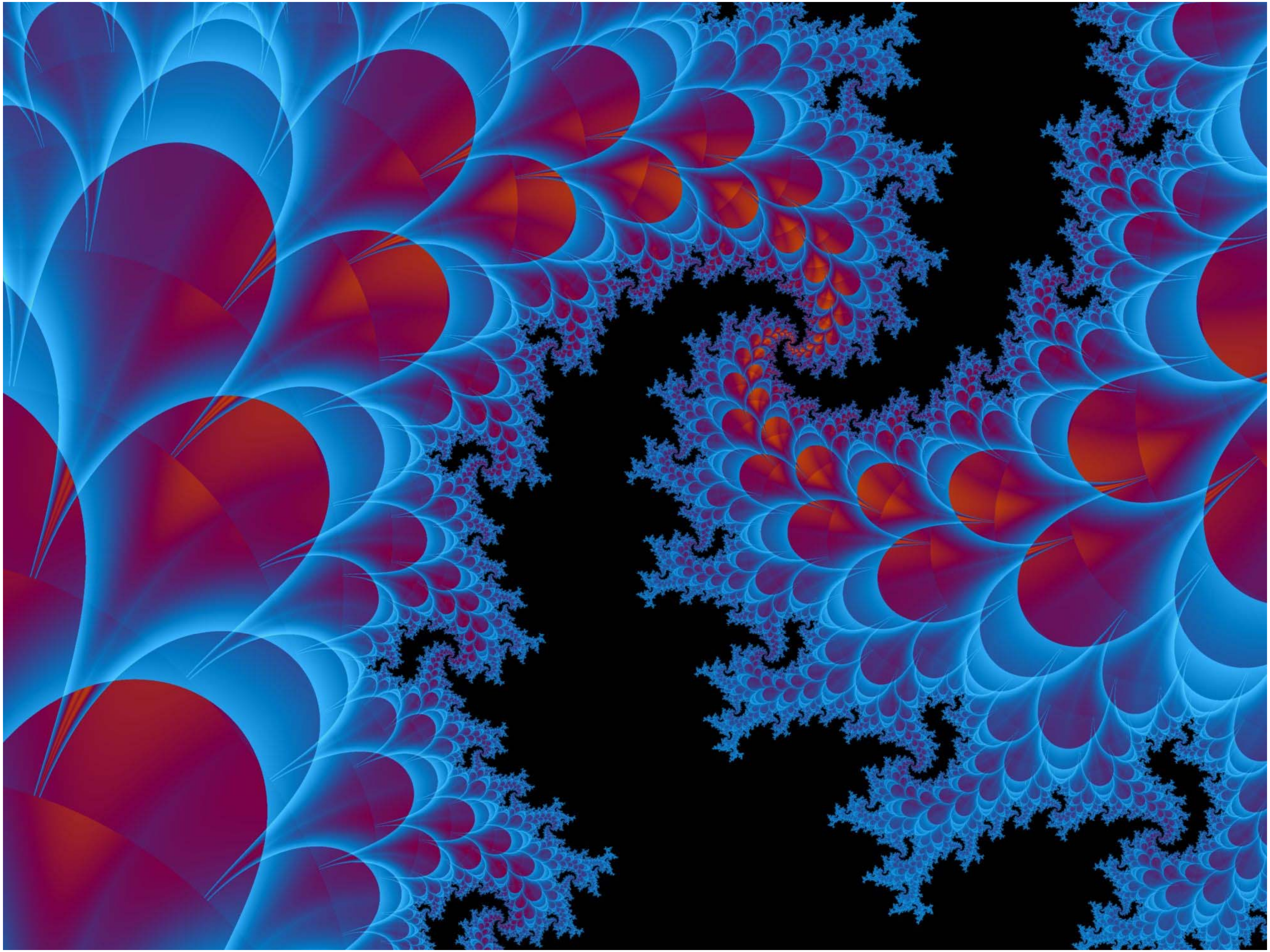


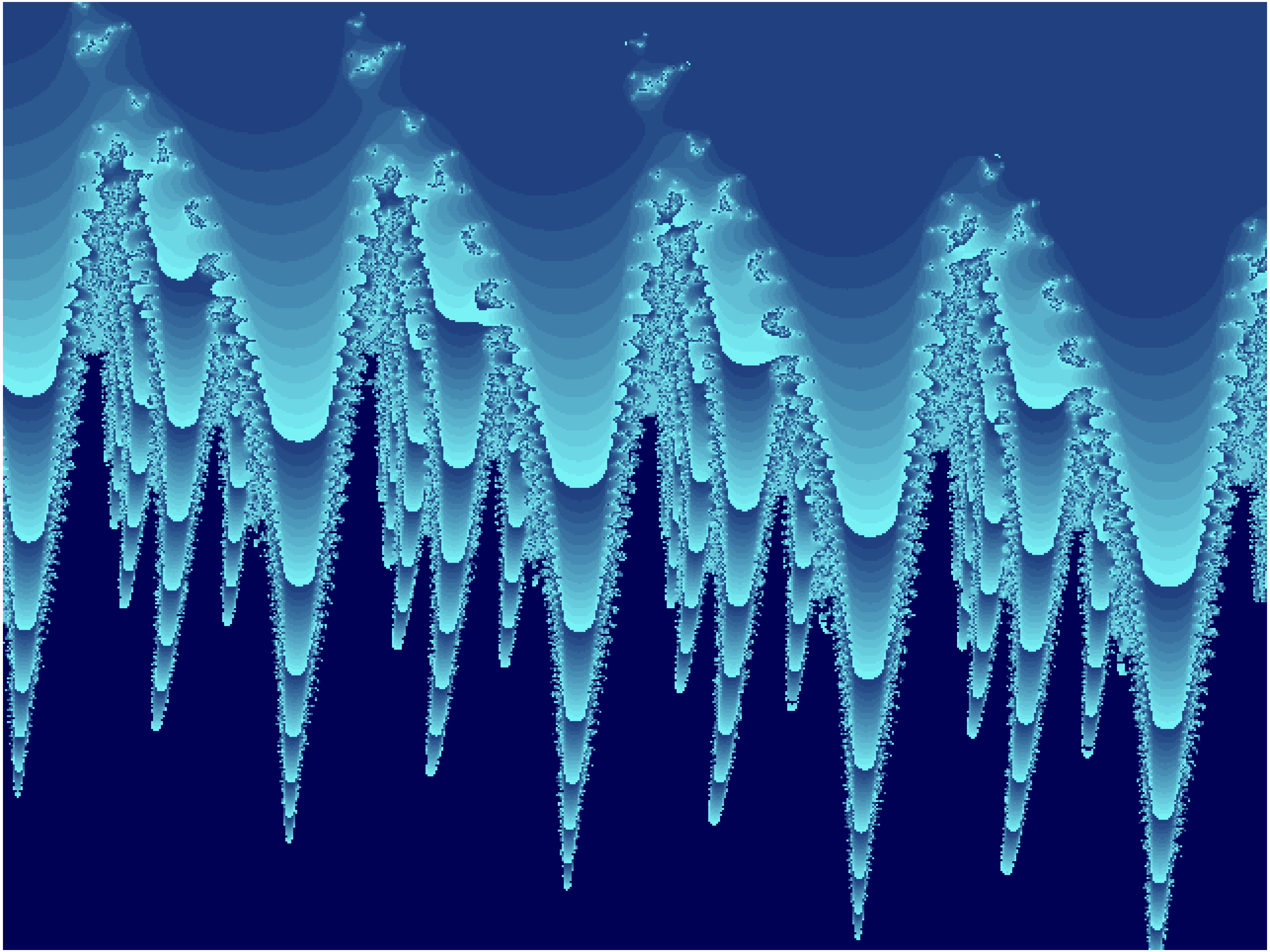


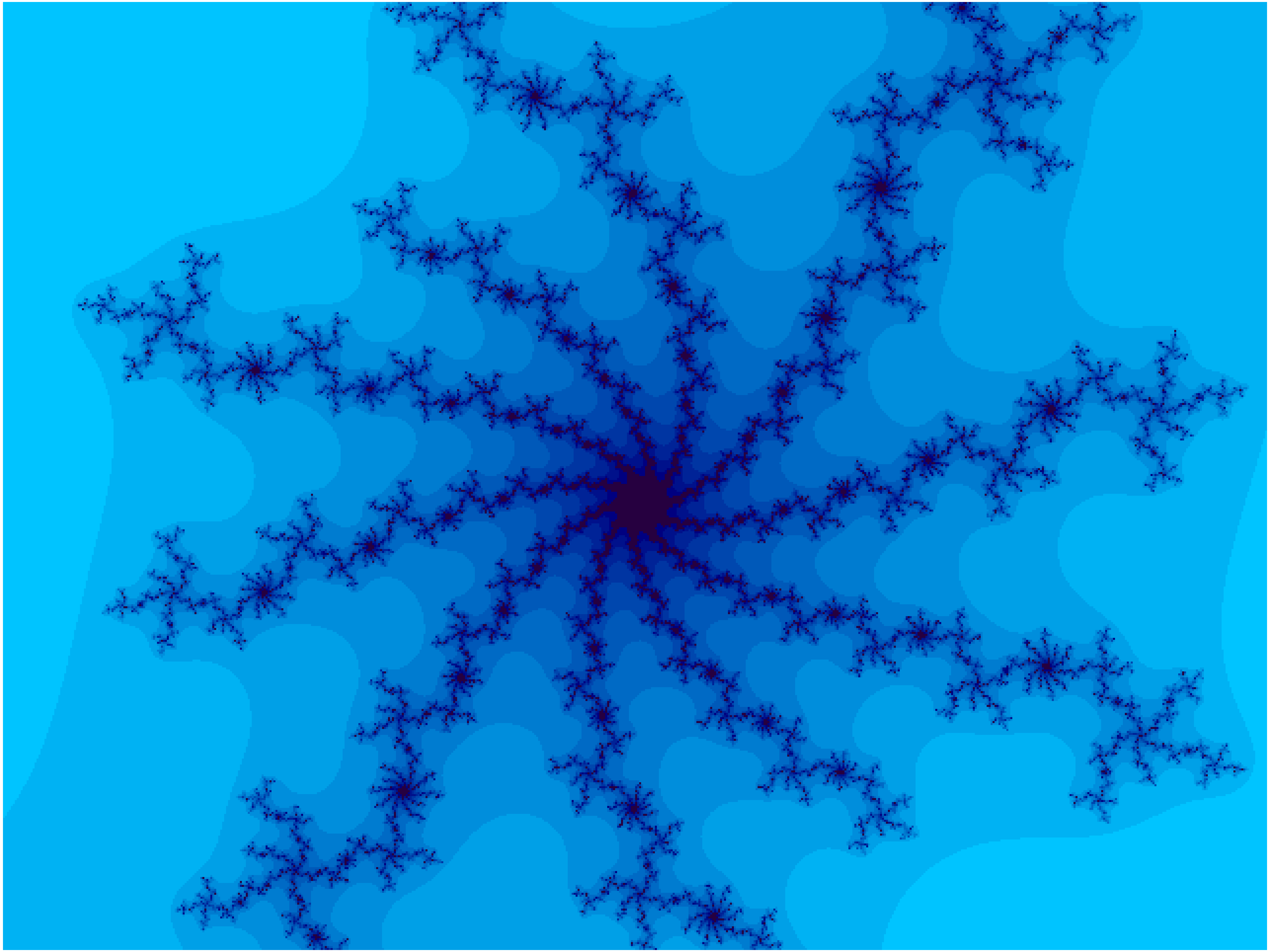


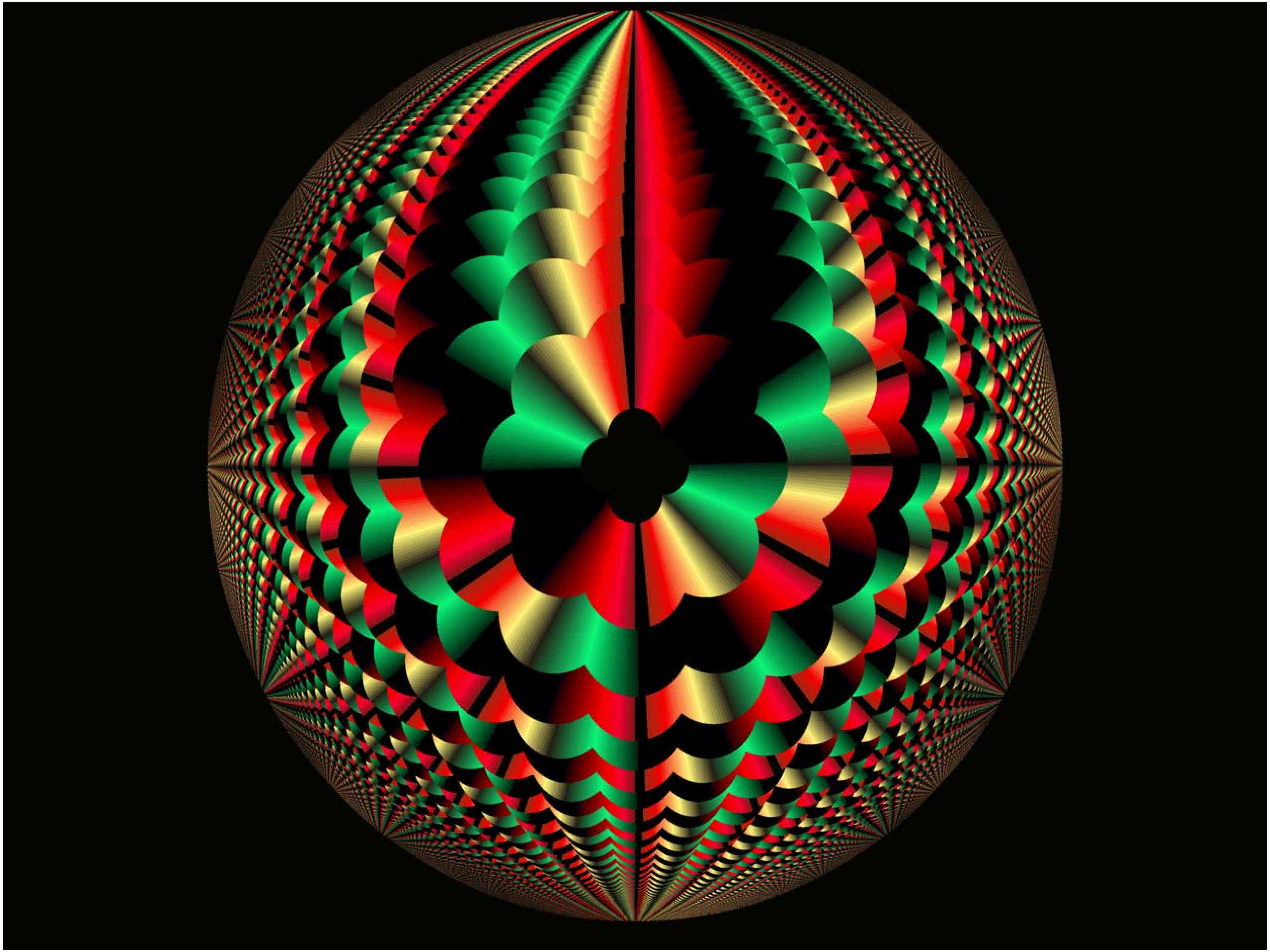
- 4º tipo: Autosimilitud
- FRACTAL: Figura geométrica autosimilar, con simetría escalada o invarianza a la escala. Parecen ser los mismos tras magnificarlos, al estar compuestos de copias más pequeñas de ellos mismos.

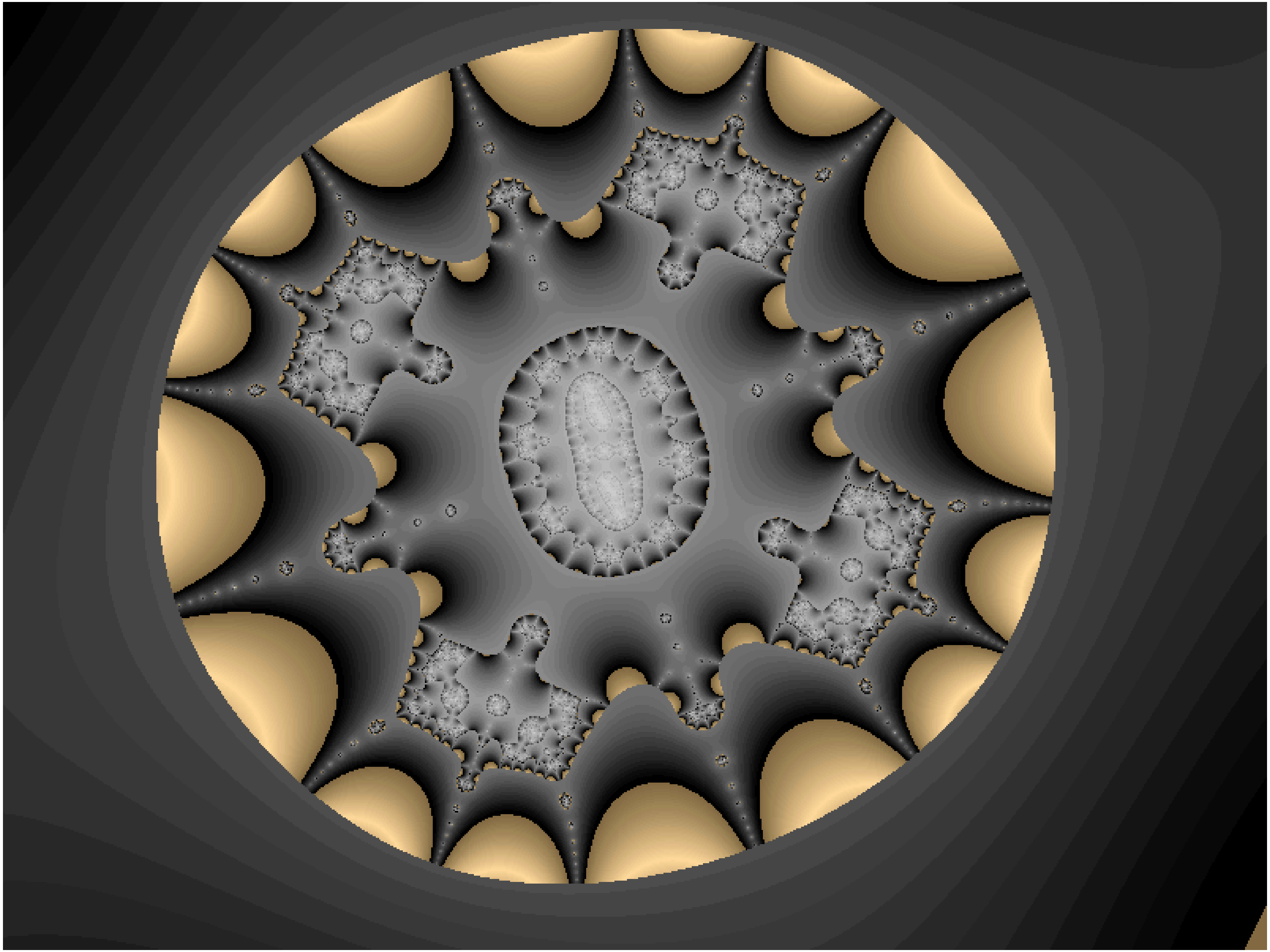


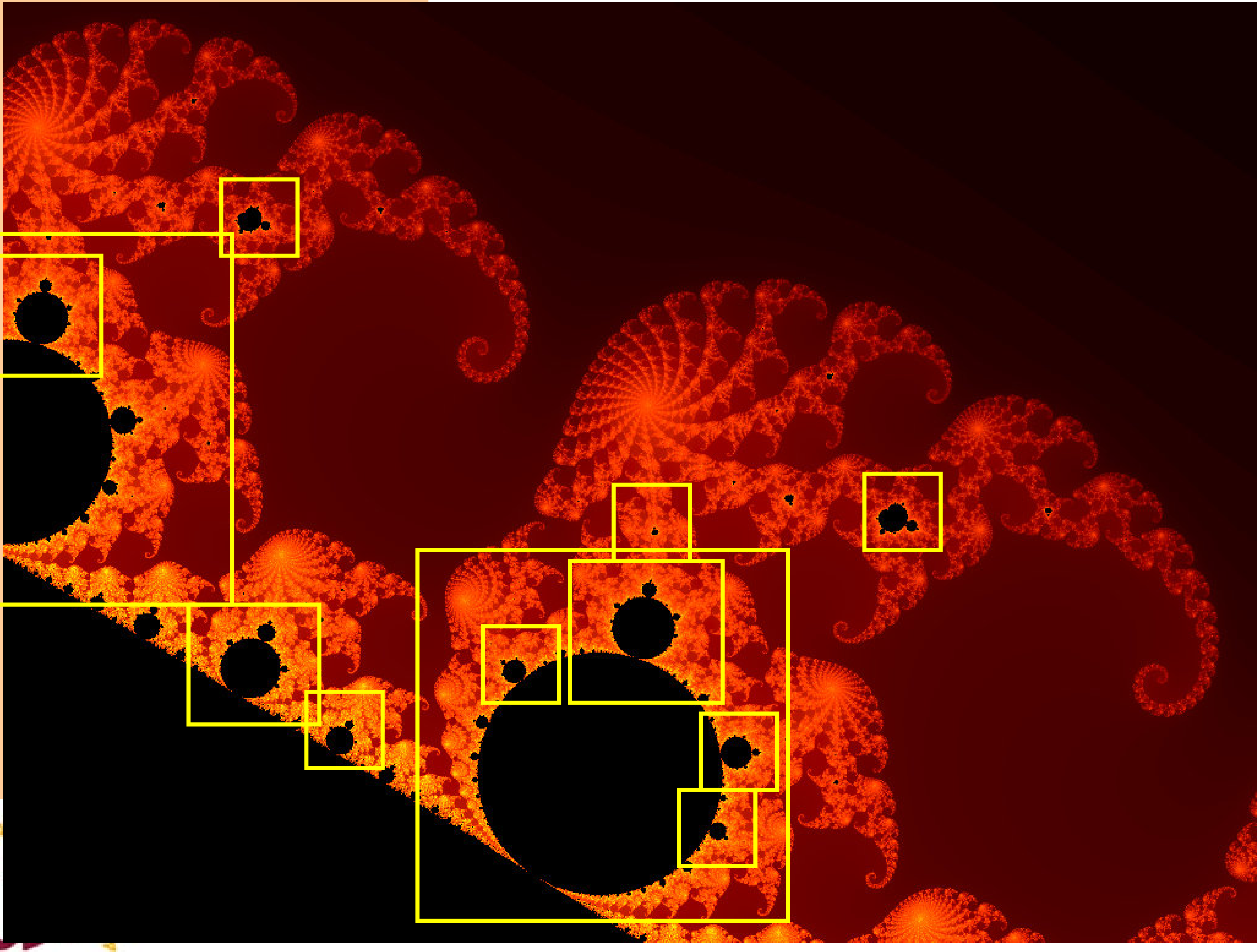








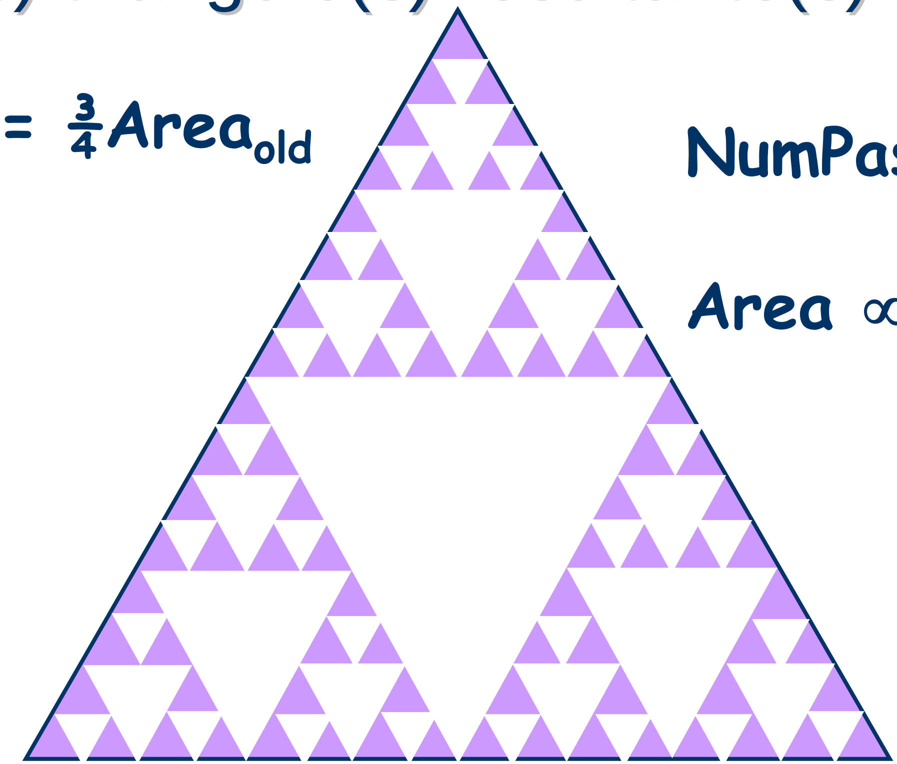




El Triángulo de Sierpinski

- Conectar los centros de los lados y sombrear el(los) triángulo(s) resultante(s)

$$Area_{new} = \frac{3}{4} Area_{old}$$



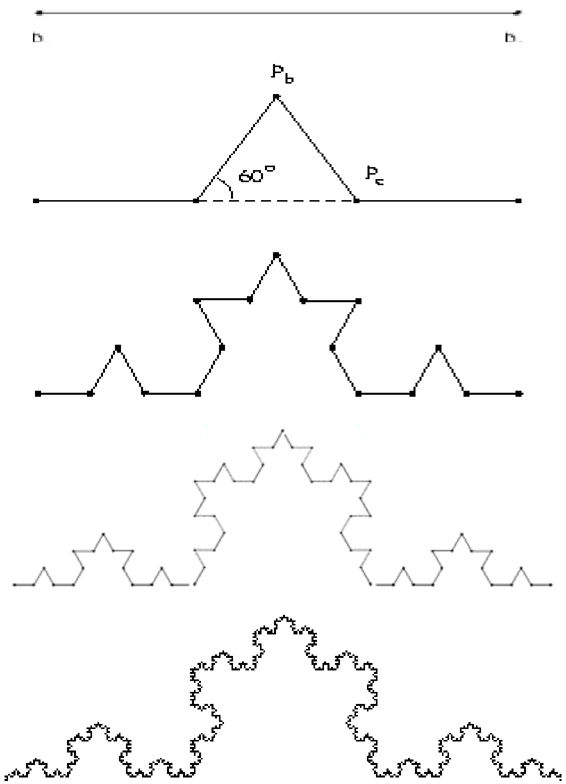
$$NumPasos \to \infty$$

$$Area \propto \left(\frac{3}{4}\right)^{NumPasos} \to 0$$

triangle.m

Departamento de Electrónica y Electromagnetismo
Universidad de Sevilla

El copo de nieve de Koch



Longitud = 1

1er Paso — Longitud = $(4/3)$

2^{o} Paso — Longitud = $(4/3)^2$

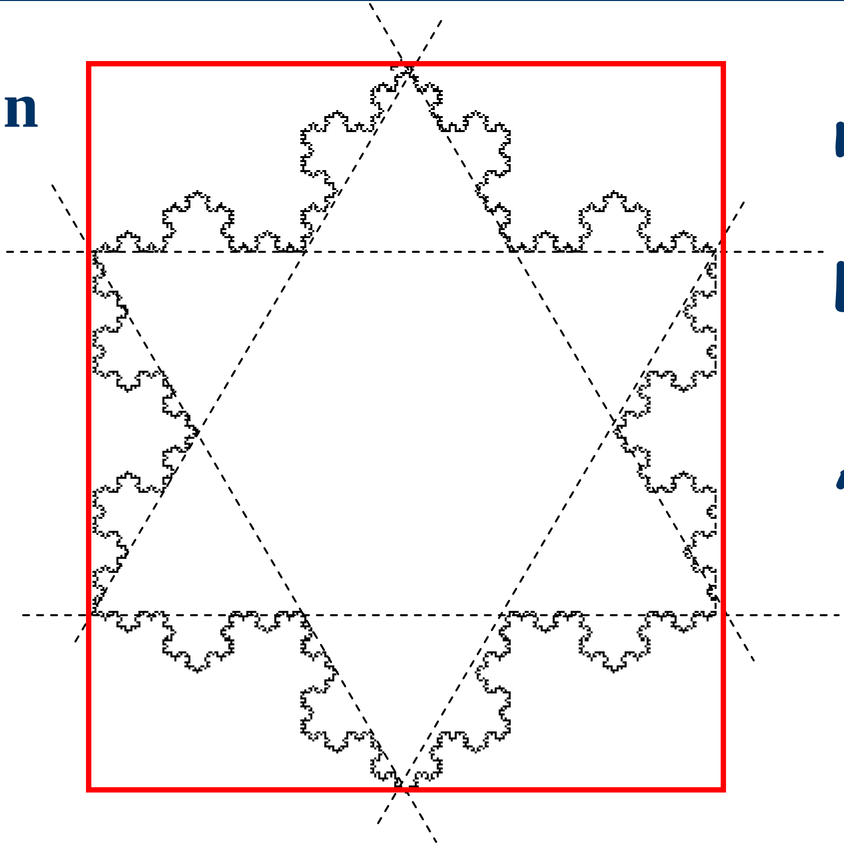
3er Paso — Longitud = $(4/3)^3$

nth Paso — Longitud = $(4/3)^n$

Departamento de Electrónica y Electromagnetismo
Universidad de Sevilla

Un copo de nieve (sumando 6)

Paso **n**



$n \to \infty$

Longitud $\propto (4/3)^n \to \infty$

Area < 1x1.15

snowflake.m

http://en.wikipedia.org/wiki/Koch_snowflake

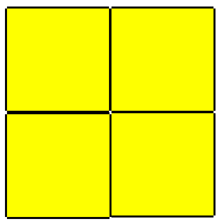
Departamento de Electrónica y Electromagnetismo
Universidad de Sevilla

Dimensionalidad: $\log_k N$

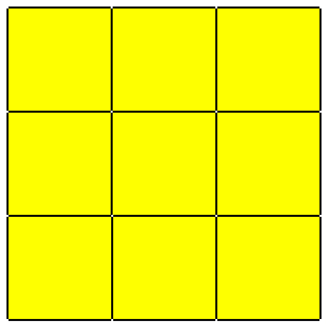
Dilatar *k* veces una forma proporciona N copias del original

$k = 2 \qquad N = 2$

$$\log_k N = 1$$

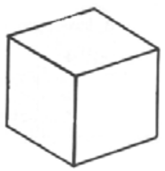


k=2; N=4

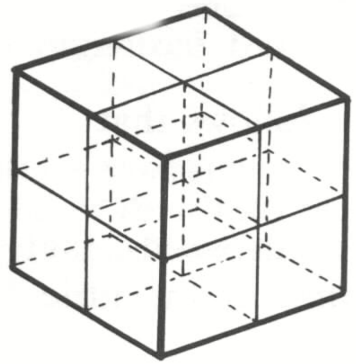


k=3; N=9

$$\log_k N = 2$$



k=2; N=8



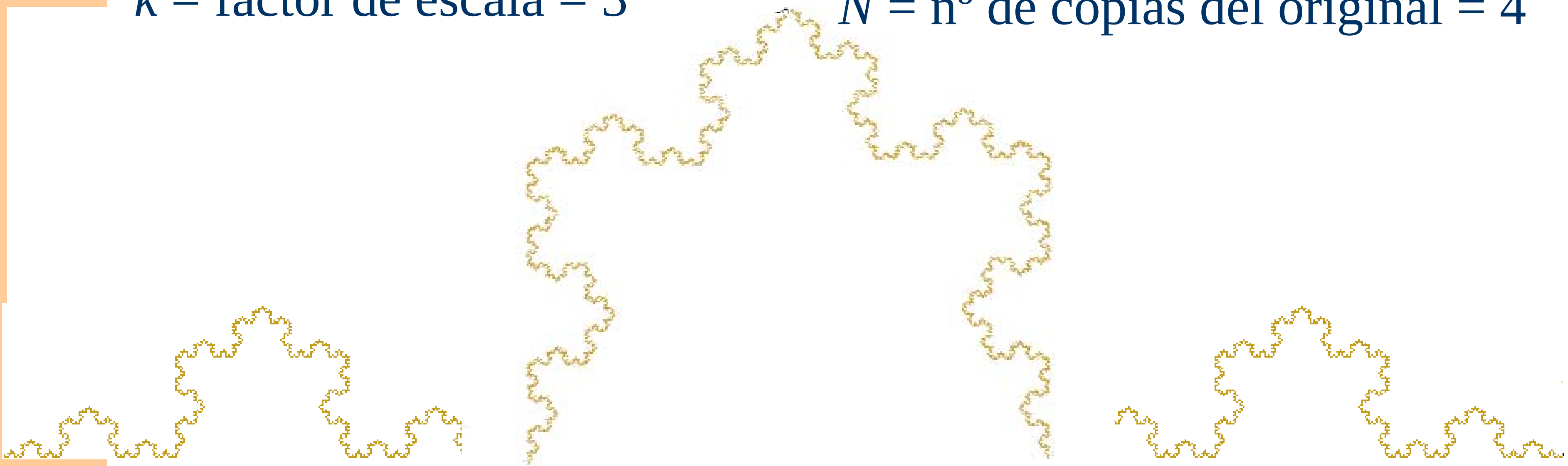
$$\log_k N = 3$$

Departamento de Electrónica y Electromagnetismo
Universidad de Sevilla

Dimensionalidad de un Fractal

k = factor de escala = 3

N = nº de copias del original = 4



$$\log_k N = \log_3 4 \approx 1.261...$$

Un fractal tiene dimensiones no enteras

Aplicaciones de fractales

- Medicina: anatomía, enzimología, histopatología, …
- Crecimiento bacteriano y biología molecular
- Análisis de costas, accidentes geográficos, nubes…
- Sismología
- Astronomía (galaxias, anillos de Saturno)
- Meteorología
- Mecánica (fracturas y superficies)
- Antenas
- Economía (evolución de precios, de población, etc.)
- Termodinámica y estado sólido
- Generación de música, videojuegos, paisajes, etc.
- Compresión de imágenes y señales
- …

Ejemplos de ficheros .m para fractales

arrowhead.m

dragon.m

hilbert.m

molecule.m