



UNIVERSIDAD
DE GRANADA



TFM

Trabajo Fin de Máster

Máster en Dibujo: Ilustración, Cómic y Creación Audiovisual

Título:

**MÁS ALLÁ DE LA ESCALA: LA GEOMETRÍA
FRACTAL Y LA APLICACIÓN DE SU ESTÉTICA A
LA PRÁCTICA ARTÍSTICA**

Autor/a: Irene Quiñonero Puey

Tutor/a: Inmaculada López Vílchez

Línea de Investigación en la que se encuadra el TFM:

La ciencia del arte

Dibujo y proyecto HUM 866

Departamento de Dibujo

Convocatoria: Junio

Año: 2023

TFM Trabajo Fin de Máster

Máster en Dibujo: Ilustración, Cómic y Creación Audiovisual

Título:
**MÁS ALLÁ DE LA ESCALA: LA GEOMETRÍA FRACTAL Y
LA APLICACIÓN DE SU ESTÉTICA A LA PRÁCTICA
ARTÍSTICA**

Autor/a: Irene Quiñonero Puey
Tutor/a: Inmaculada López Vílchez

Línea de Investigación en la que se encuadra el TFM:
La ciencia del arte
Dibujo y proyecto HUM 866
Departamento de Dibujo

Convocatoria: Junio
Año: 2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

El plagio, entendido como la presentación de un trabajo u obra hecho por otra persona como propio o la copia de textos sin citar su procedencia y dándolos como de elaboración propia, conllevará automáticamente la calificación numérica de cero. Esta consecuencia debe entenderse sin perjuicio de las responsabilidades disciplinarias en las que pudieran incurrir los estudiantes que plagien.

El abajo firmante D./Dña..Irene Quiñonero Puey. con DNI ..47418269C., que presenta el Trabajo Fin de Máster con el título: ..MÁS ALLÁ DE LA ESCALA: LA GEOMETRÍA FRACTAL Y LA APLICACIÓN DE SU ESTÉTICA A LA PRÁCTICA ARTÍSTICA....., declara la autoría y asume la originalidad de este trabajo, donde se han utilizado distintas fuentes que han sido todas citadas debidamente en la memoria y dispone de la autorización y permisos pertinentes para la publicación de las imágenes y documentos.

Y para que así conste firmo el presente documento en Granada a.....19.....de ...junio..... de 2023

El autor:

ÍNDICE

Resumen.....	4
Abstract.....	4
1. Introducción.....	5
1.1 Introducción y justificación del tema.....	5
1.2 Antecedentes propios.....	5
2. Objetivos y metodología.....	16
3. Fundamentación teórica.....	18
3.1. El pensamiento gráfico y los límites de la percepción.....	18
3.1.1. ¿Cómo rompen los límites de la percepción sensorial?.....	18
3.1.2. Escala: relación entre realidad y representación....	21
3.1.3. El pensamiento gráfico. Hacer visible lo no visual...	27
3.2 Escala como recurso en el arte.....	31
3.2.1. El tamaño sí importa.....	31
3.2.2. La alteración de la escala como recurso en el arte..	32
3.3. Más allá de la escala: lo fractal.....	36
3.3.1. Geometría fractal.....	36
3.3.2. Características de los fractales.....	40
3.3.3. Estética fractal.....	46
4. Investigación en el proceso creativo.....	53
4.1. Práctica digital.....	53
4.1.1 Proceso. Programas fractales.....	53
4.1.2 Resultados gráficos.....	58
4.2. Práctica analógica.....	63
4.2.1 Proceso de RAMA-PORO-ESPIRAL.....	63
4.2.2 Resultados gráficos.....	74
5. Conclusiones.....	77
6. Proyección futura del trabajo.....	77
7. Bibliografía y Webgrafía.....	78
8. Curriculum.....	81

Resumen

Este Trabajo Fin de Máster es un proyecto teórico-práctico donde se propone emplear la geometría fractal como sistema para trabajar el concepto de escala en la práctica artística. En nuestro entorno natural, podemos encontrar elementos de distintos tamaños que se asemejan en su forma y proporciones y la geometría fractal establece un vínculo entre ellos y le da un orden.

El objetivo de este trabajo es conocer cómo la escala y la geometría fractal se aplican como recursos y estrategias en la práctica artística, desarrollando una investigación personal donde la experimentación tiene un papel fundamental, junto con un análisis teórico de los conceptos mencionados.

El trabajo parte de lo general a lo particular, se establece un concepto general que luego se traslada al mundo del arte a través de diversos referentes, se aplica a la práctica artística en una fase de experimentación con herramientas digitales y métodos tradicionales y, finalmente se elabora una propuesta creativa personal.

Palabras Clave

geometría fractal, escala, pensamiento gráfico, percepción visual observación, dibujo, estética fractal

Abstract

This Master's Thesis is a theoretical-practical project which proposes the use of fractal geometry as a system for working on the concept of scale in artistic practice. In our natural environment, we can find elements of different sizes that are similar in their shape and proportions and fractal geometry establishes a link between them and gives them an order.

The aim of this work is to find out how scale and fractal geometry are applied as resources and strategies in artistic practice, developing a personal investigation where experimentation plays a fundamental role, together with a theoretical analysis of the concepts.

The work starts from the general to the, establishing a general concept that is then transferred to the art world through various references, applied to artistic practice in a phase of experimentation with digital tools and traditional methods and, finally, a personal creative proposal is elaborated.

Key Words

fractal geometry, scale, graphic thinking, visual perception, observation, drawing, fractal aesthetics

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción y justificación del tema

El presente proyecto de investigación artística acerca de la geometría fractal y su estética aplicada a la práctica artística nace del interés de vincular el arte con la naturaleza a través de la geometría.

A lo largo de la trayectoria artística nos hemos interesado en las formas de la naturaleza y este trabajo es un desarrollo más profundo de sus bases teóricas y analizaremos su aplicación en la creación artística.

El proyecto presenta una parte teórica y otra práctica que conforman un binomio, se interrelacionan entre ellas y se desarrollan paralelamente con la finalidad de aportar unos resultados más completos y permitan una comprensión más amplia de los temas a tratar.

Abarcaremos las posibilidades estéticas de la geometría fractal aplicada a la práctica artística y su vinculación con el concepto de escala. La escala nos permite representar la realidad sobre un soporte, pero también alterarla, por lo que resulta un recurso interesante y decisivo a la hora de crear una obra artística.

Para comprender mejor estos conceptos, buscaremos cómo se han superado los límites de la percepción y el papel de la representación gráfica.

En la parte práctica llevaremos a cabo distintas propuestas en las que experimentaremos con programas informáticos y técnicas tradicionales, buscando distintos recursos que nos permitan crear imágenes interesantes vinculadas a nuestros intereses.

Este trabajo se encuentra a medio camino de la producción artística propia y plantea una nueva vía más definida y sustentada para que se pueda desarrollar en proyectos futuros. Anteriormente se desarrollaron dos series en las cuales se trabajó el concepto de escala y las estructuras de la naturaleza partiendo de modelos orgánicos.

1.2. Antecedentes propios.

Como hemos comentado anteriormente, se realizaron dos proyectos que despertaron el interés por comprender las estructuras de la naturaleza y vincularlas con el arte.

Ser y tierra y **Habitáculos**, son dos proyectos que tienen como modelos elementos vegetales que son alterados y reinterpretados modificando su forma y escala.

Serie 1: Ser y Tierra

Ser y Tierra (2022) es un proyecto expositivo en el que se empezó a plantear los enlaces del ser humano con la naturaleza vinculando el proceso de creación como ritual y el crecimiento vegetal. Para ello, me centré en el olivo como árbol que simboliza la longevidad, lentitud y que invita a la contemplación.

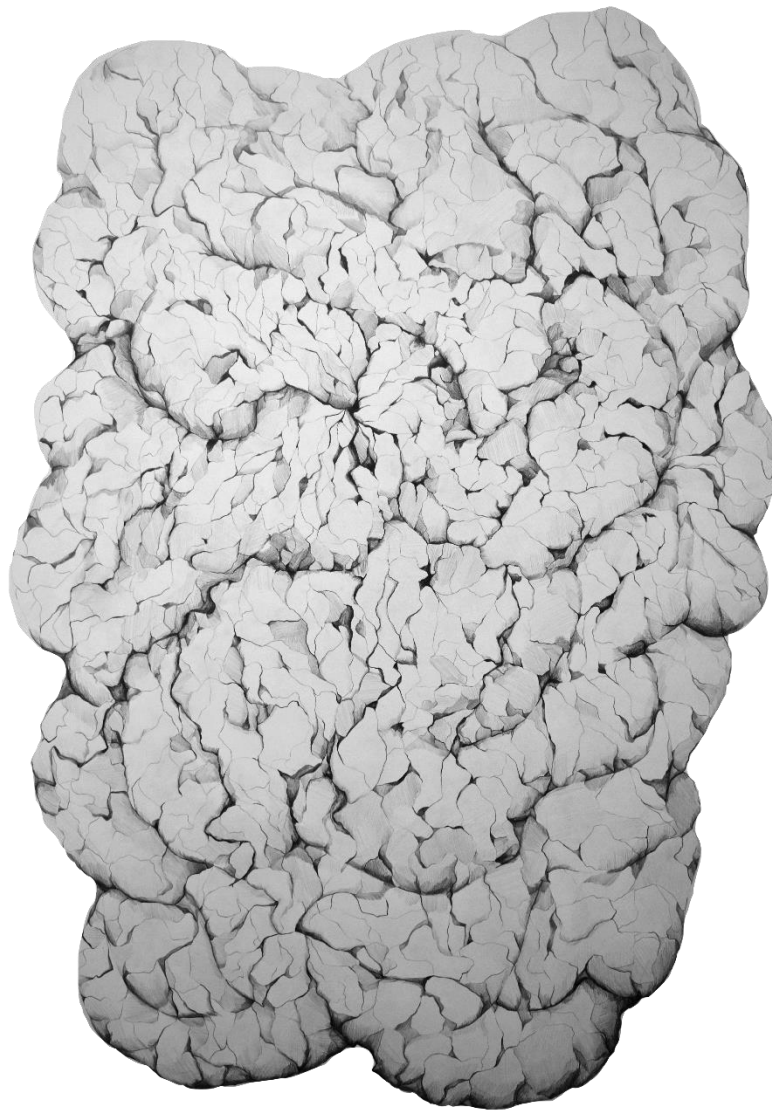
El objetivo era relacionar el crecimiento paulatino de las formas vegetales con el acto ritual, plasmando el tiempo del proceso de creación con la repetición y la lentitud.

Realicé estudios del natural de partes del olivo a través de una lupa y posteriormente empleé el aumento de escala y la repetición para crear nuevas estructuras que incentivaran la contemplación en los espectadores.

Las piezas realizadas se llevaron a cabo a través del dibujo, la serigrafía y la litografía.

Ser y tierra es el germen de este Trabajo Fin de Máster pues es un acercamiento a la comprensión de las estructuras de la naturaleza a partir de repetir un mismo elemento que recuerda a los objetos fractales. Además, las dimensiones y la escala de las piezas finales dependían del tiempo empleado en cada una de ellas, jugando un papel fundamental en el resultado.

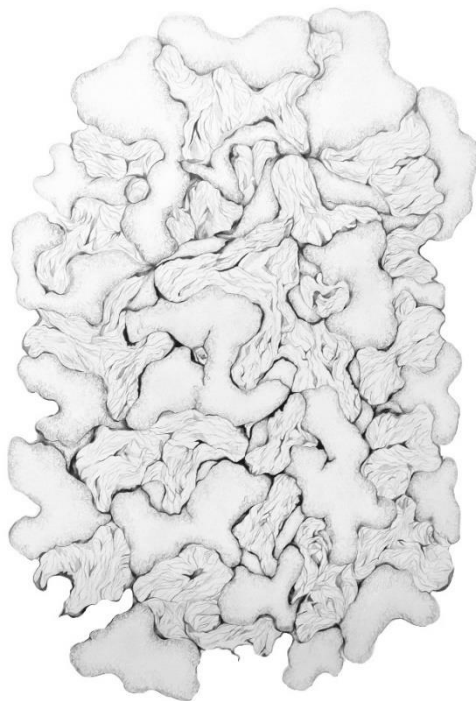
A continuación, se muestran las piezas más destacadas del proyecto:



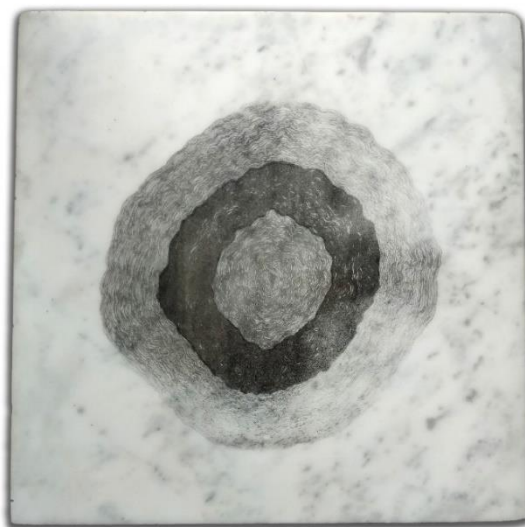
QUEBRADO III, 2022. Grafito sobre papel. 170cm x 120 cm



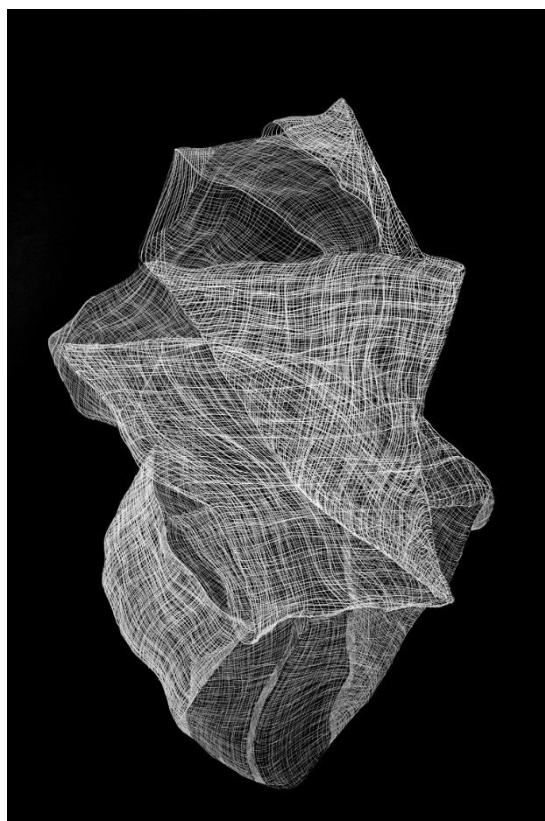
AROMA, 2022. Grafito sobre papel. 100cm x 70cm



DEMORA, 2022. Grafito sobre papel. 100cm x 70cm



AION-AETERNITAS, 2022. Litografía sobre mármol,
34 x 34cm.



La red que sujeta al tiempo, 2022.

Tinta sobre papel, 100 x 70 cm

Serie 2: Habitáculos

Habitáculos (2023) es un proyecto que se desarrolló durante las asignaturas Dibujo y Geometría I y II impartidas en el Máster donde empecé a investigar acerca de los objetos fractales y la escala. También me permitió combinar por primera vez técnicas analógicas y digitales en mi proceso creativo.

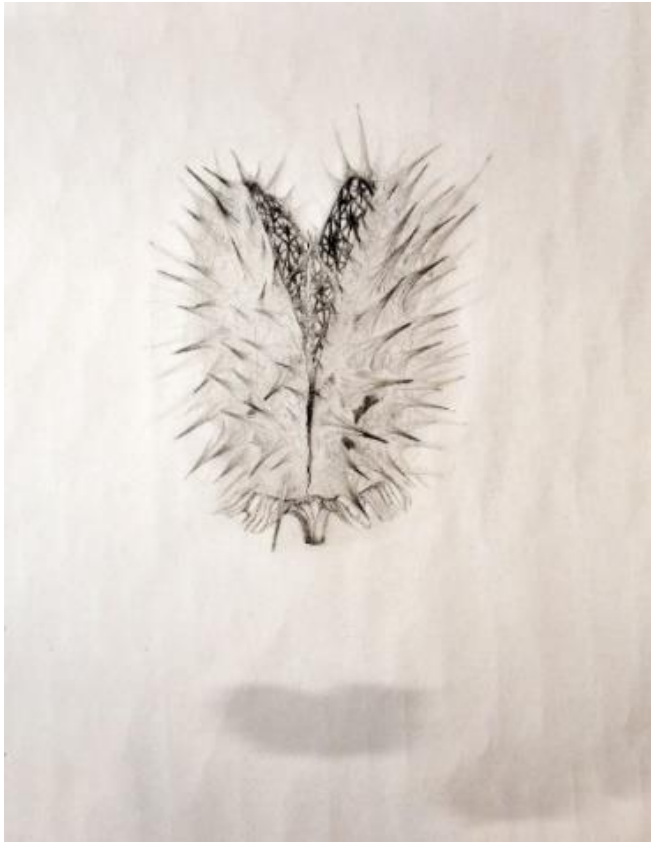
En **Habitáculos** se ha planteado la transformación de elementos vegetales en posibles habitáculos ficticios y formas nuevas tridimensionales a través del programa paramétrico fractal Mandelbulb 3D. Este trabajo tiene como finalidad descontextualizar y destacar piezas vegetales encontradas que tienen una construcción geométrica interesante y particular y a partir de ellas reconfigurarlas con el lenguaje computacional transformándolas en objetos fractales perfectos.

Proceso

En primer lugar, se realizaron dibujos de carácter realista y naturalista de los elementos seleccionados: una vaina de la especie *Magnolia Grandiflora*, otra de semillas de árbol de goma dulce y un cadillo.



Magnolia grandiflora, 2023. Grafito sobre papel, 100 x 70 cm.

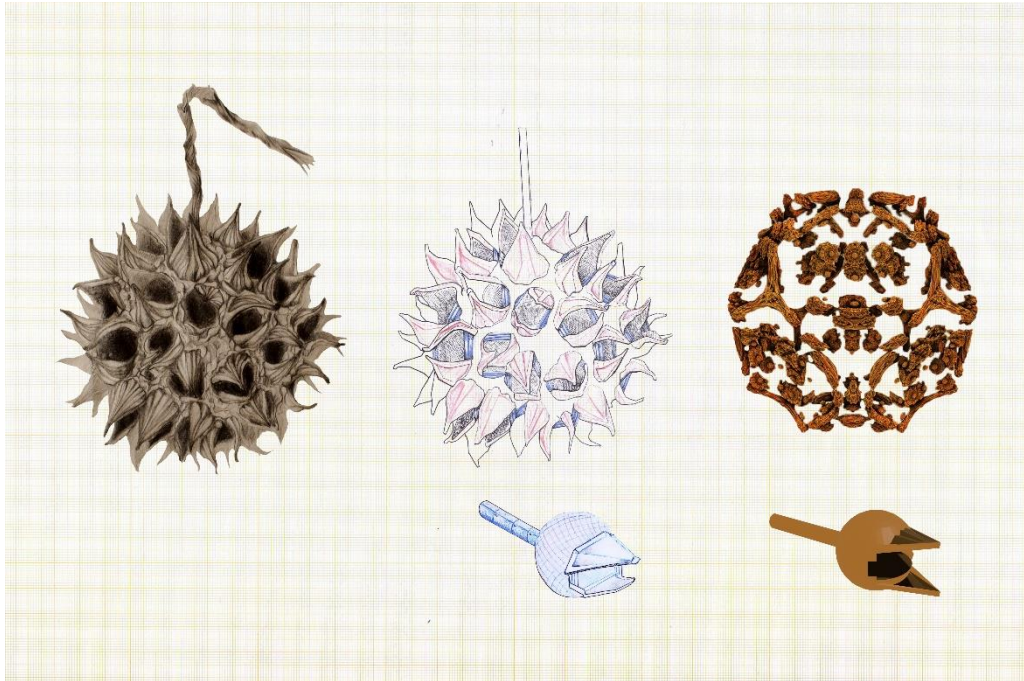


Cadillo, 2023. Grafito sobre papel, 100 x 70 cm.

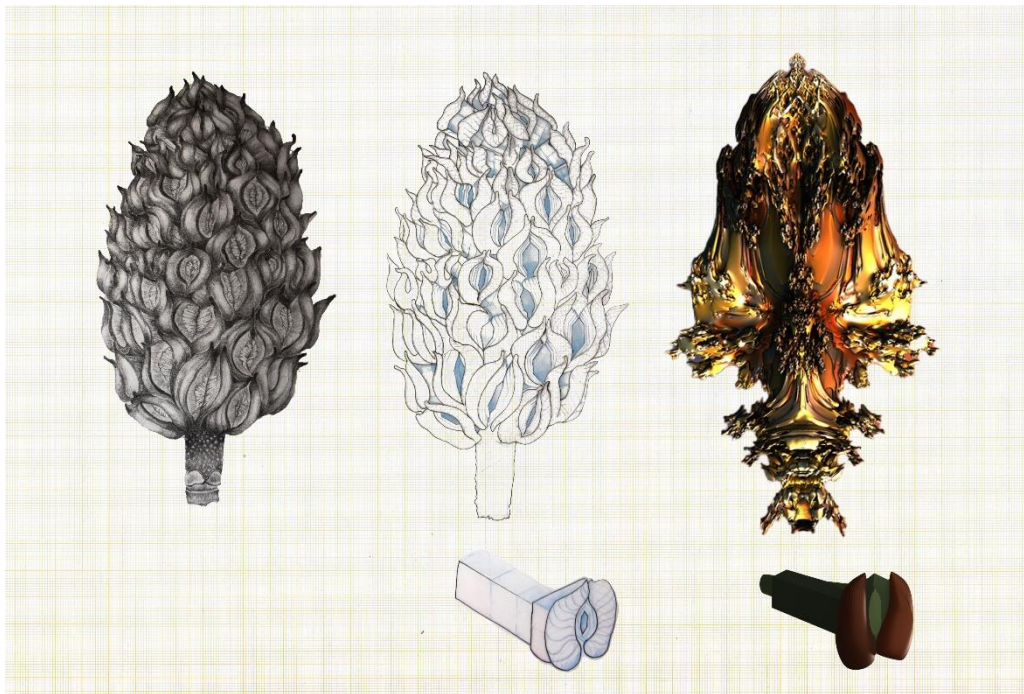


Vaina de semillas de árbol de goma dulce, 2023. Grafito sobre papel, 100 x 70 cm.

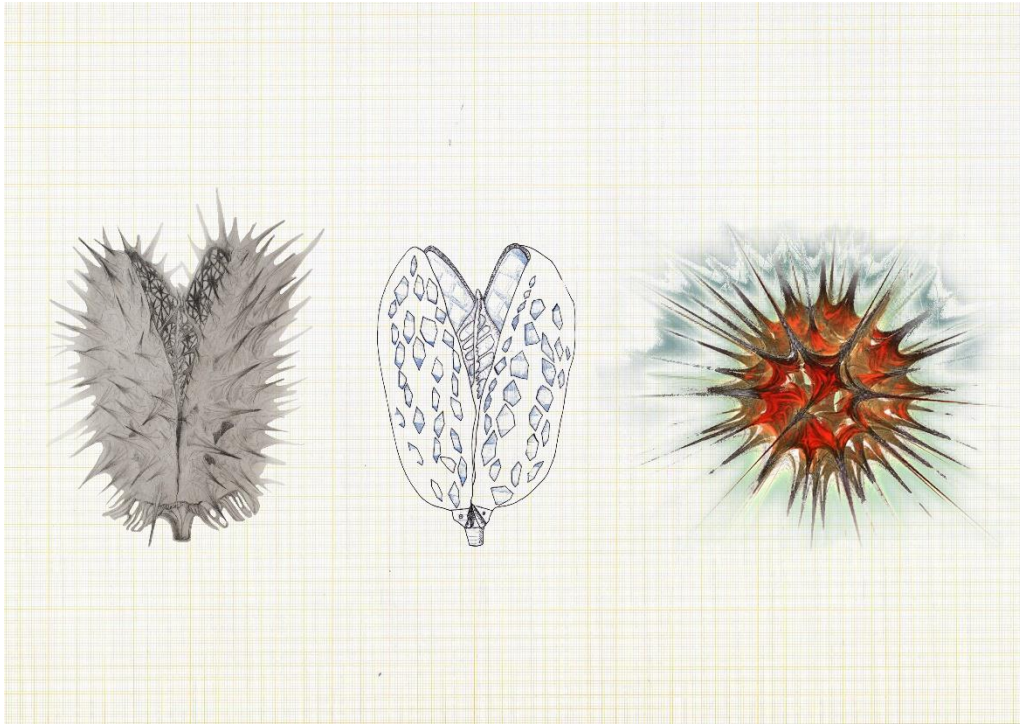
A continuación, realicé un estudio sintetizando sus formas y, de alguna manera, transformando los elementos vegetales en “posibles habitáculos”. Finalmente, empleando por primera vez un programa paramétrico fractal, generé modelos tridimensionales inspirados en los elementos vegetales, finalizando así la transición entre lo analógico y lo digital.



Estudio de Vaina de semillas de árbol de goma dulce, 2023. Imagen digital.



Estudio de Magnolia Grandiflora, 2023. Imagen digital.



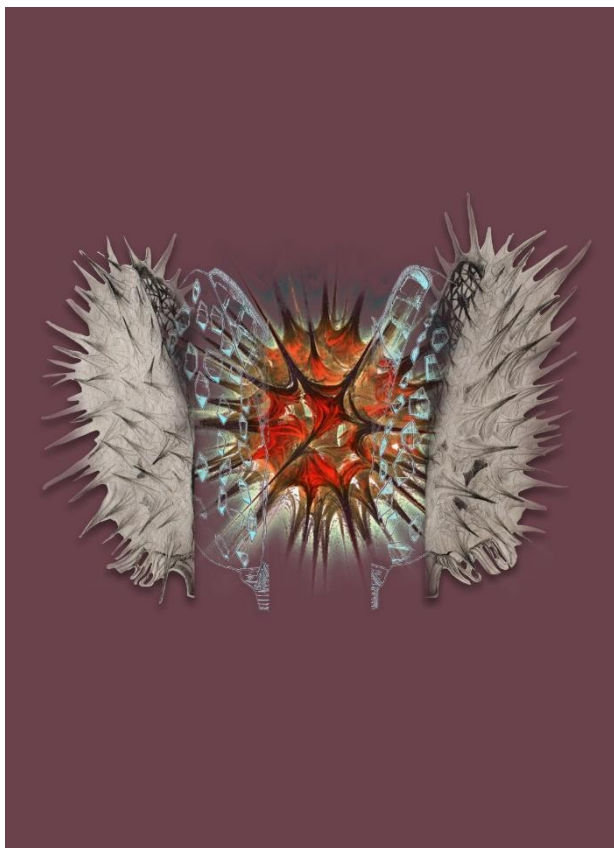
Estudio de Cadillo, 2023.Imagen digital.



Vaina de semilla de árbol de goma dulce: de lo analógico a lo digital, 2023.
Ilustración digital.



***Magnolia grandiflora*: de lo analógico a lo digital, 2023.** Ilustración digital.



Cadillo: de lo analógico a lo digital, 2023. Ilustración digital.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

Objetivos

General

- Analizar la importancia de la escala en el arte

Específicos

- Investigar acerca de la geometría fractal y cómo aplicarla a la práctica artística.
- Experimentar y alterar la escala de elementos/paisajes.
- Conocer la importancia del pensamiento gráfico en el conocimiento y superación de los límites de la percepción.
- Realizar una producción artística aplicando la escala y la geometría fractal.

Metodología

La metodología llevada a cabo en este trabajo se vincula en la "Investigación basada en Práctica Artística".

"Hacer una investigación desde el arte significa tomar las herramientas propias de la creación artística y generar conocimiento nuevo desde su propia trinchera[...]" (Ariza, 2020)

Este trabajo se ha desarrollado principalmente usando esta metodología de ya que se enfoca en el estudio desde el campo de las artes con el objetivo de producir un conocimiento a través de la práctica artística. Esta metodología se distingue a las demás ya que no pertenece a un campo científico, sino que desarrolla otros métodos propios de la creación artística y tiene unos principios epistemológicos diferentes.

La investigación artística se desarrolla a través de la producción de imágenes, sonidos u otras formas de expresión artística, enriqueciendo y dando otras posibilidades estéticas e iconológicas en el ámbito de las artes. Aunque no siempre la finalidad de la investigación es una obra final, puede ser un estudio o análisis de elementos relacionados con el campo de las artes que permitan ayudar y evolucionar a los artistas e investigadores de esta disciplina.

No podemos obviar que tanto la investigación artística como la científica pueden llegar a guardar muchas similitudes entre ellas, ya que comparten muchas preguntas a las que se les quiere dar una respuesta aplicando una metodología enfocada en su campo. Como podemos apreciar en la cita de arriba, Julian Klein manifiesta en *"What is artistic research"* (originalmente publicado en Gegenworte 23, Berlin-Brandenburg Academy of Sciences and Humanities) que hay muchas preguntas en común entre ambas disciplinas.

A pesar de que la práctica artística tiene un papel principal en este trabajo, también se ha querido dar importancia al contenido teórico ya que, como se expone en el apartado **6. Proyección futura del trabajo** pretende ser un punto de partida para una posible tesis acerca de la escala y la percepción, así como emplearlo para propuestas didácticas y fomentar la colaboración entre arte y ciencia.

La documentación teórica sirve de guía a las propuestas artísticas del trabajo, las cuales la experimentación durante el proceso creativo es el factor determinante de los resultados obtenidos.

Fases

Como se ha comentado, las fases en las que se ha dividido el trabajo se han ido interrelacionando y alimentándose entre ellas, complementándose.

Investigación teórica

Esta fase se ha llevado a cabo a través de diversas fuentes literarias, destacando a las artísticas, científicas e históricas. El contenido teórico de este proyecto ha tenido un peso importante ya que se ha buscado hacer un análisis histórico y general de los temas a tratar y cómo se entrelazan entre ellos. El desarrollo del contenido se ha dividido en tres capítulos principales donde iremos de lo más general a lo más concreto del trabajo.

- Análisis de la representación gráfica y su importancia frente a los límites de la percepción.

Este capítulo inicial pretende dar una introducción breve y general de las cuestiones mencionadas a partir de las cuales se desarrolla el trabajo.

- Reconocimiento de la importancia de la escala y su uso en el arte.

Se ha realizado una revisión de las características y tipos de escalas y su aplicación en el arte poniendo de ejemplo artistas destacados, tanto actuales como pasados.

- Investigación acerca de la geometría fractal y la aplicación de su estética a la práctica artística.

El capítulo con mayor desarrollo pues es la cuestión en la que nos enfocamos de una forma más concreta. Se analiza las características principales de la geometría fractal, sus referentes científicos más destacados y artistas que tienen una estética fractal. Se muestran ejemplos de artistas que trabajan en la actualidad y referentes pasados.

Trabajo de campo y experimentación

Al llevar paralelamente el contenido teórico y la práctica artística, la documentación adquirida ha ido abriendo diferentes posibilidades de experimentación con distintos recursos digitales y tradicionales.

Es por eso por lo que se han empleado distintas técnicas y se han abierto diversas posibilidades durante el proceso creativo.

Por lo tanto, se han propuesto los siguientes procedimientos:

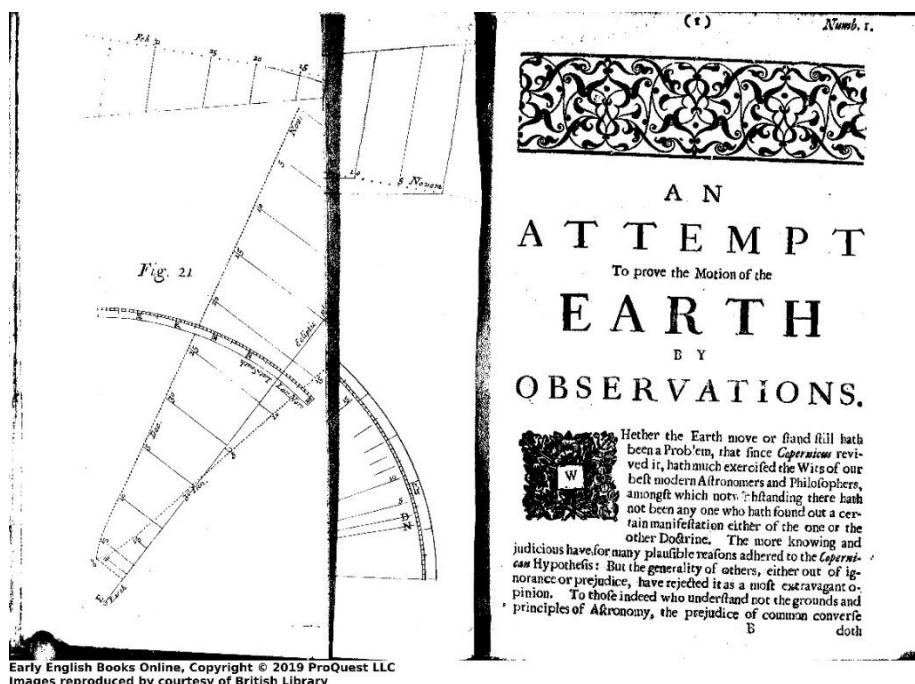
- Práctica digital: empleo de herramientas informáticas para la generación de fractales,
- Práctica analógica: aplicar la estética fractal y la alteración de la escala empleando técnicas tradicionales.

Selección y resultados

A partir del trabajo de campo y el proceso de experimentación por las distintas vías propuestas, se seleccionan aquellas obras que se acercan a los objetivos propuestos en este trabajo y reflejan el proceso y las distintas propuestas creativas que pueden abarcarse a partir de esta investigación.

3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

3.1. EL PENSAMIENTO GRÁFICO Y LOS LÍMITES DE LA PERCEPCIÓN



Portada de “An attempt to prove the motion of the Earth by observations”. 1674. Robert Hooke

El ser humano siempre ha sido un ser curioso, deseoso de conocer su entorno, comprenderlo y dominarlo. Es por eso por lo que se las ha ingeniado para encontrar la manera de acceder y descubrir todo lo que le rodea. A lo largo de los siglos, se han planteado teorías y han llevado a cabo descubrimientos que han ayudado a comprender aquello que se nos escapa de las manos, lo que está más allá del límite de nuestra percepción.

3.1.1. ¿Cómo rompen los límites de la percepción sensorial?

En este apartado se expone como ejemplo algunas teorías que se han planteado durante la historia para comprender el mundo y cómo la evolución de la instrumentación óptica ha ido modificando nuestra percepción respecto a lo que nos rodea.

Hoy en día si queremos saber cómo se ven los Pirineos o el Glacial Ártico desde el espacio, simplemente tenemos que abrir un programa como Google Earth y buscarlo. El desarrollo veloz de las nuevas tecnologías ha permitido que en la actualidad apenas tengamos barreras para ver aquello que nuestro ojo no es capaz de percibir.

Sin embargo, como es evidente, no siempre ha sido así, y para llegar a los satélites han pasado cientos de teorías, instrumentos e inventos que, progresivamente, han ido abriendo esas fronteras de lo desconocido.

Grandes pensadores grecolatinos como Platón propusieron teorías sobre cómo podría estar constituido el “cosmos”. En aquel momento, no podían confirmar sus teorías mediante la observación a través de un potente telescopio o un

satélite qué había más allá del cielo, así que intentaron explicar el mundo a través de la filosofía y la geometría.

Una de las grandes cuestiones de la historia de la humanidad es la comprensión del Universo, cómo está formado y qué papel desarrollamos dentro de él.

Pensadores como Aristóteles (384 a.C.- 322 a.C.) y Claudio Ptolomeo (100 d.C. – 170 d.C.), desarrollaron y apoyaron la teoría geocéntrica, que sustenta que la Tierra esférica es el centro del universo y que los astros, estrellas como el Sol y planetas giraban a su alrededor de forma circular y uniforme. Además, diferenciaban la naturaleza terrestre con el resto de los cuerpos celestes.

Posteriormente, Nicolás Copérnico (1473-1543) sustituyó la Tierra por el Sol como centro del universo, por lo que nuestro planeta, junto con el resto de los cuerpos celestes (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno), giraban a su alrededor a través de órbitas circulares de forma regular y perpetua. Los planetas poseían tres tipos de movimientos: rotación diurna, revolución e inclinación anual sobre su eje. Todas estas ideas recogidas en *De revolutionibus orbium coelestium* (1543) sirvieron de base para las teorías posteriores de Galileo Galilei (1564-1642), Johannes Kepler (1571-1630) e Isaac Newton (1643-1727).

Para respaldar teorías, probar empíricamente fenómenos y descubrir los distintos elementos, seres vivos y sucesos de nuestro entorno, fueron imprescindibles las herramientas ópticas que ayudaron a acercarnos más a los mundos aparentemente escondidos. Uno de los primeros ejemplos lo encontramos en el año 1000 d.C. aproximadamente cuando se creó la primera piedra de leer. En el siglo XIV, encontramos un *horologium cum fistula*¹, un tubo de observación que estaba orientado a la estrella polar para permitir la medición en la noche, que parece ser un precedente al telescopio. Pero no fue hasta principios del siglo XVII cuando se crearon los primeros telescopios, (uno de los pioneros fue Galileo Galilei en 1609) y se fundaron en 1595 los principios del microscopio compuesto gracias a Zacharias Janssen (1585-1632).

El desarrollo de la instrumentación óptica fue toda una revolución para comprender el entorno y descubrir, entre otras cosas, elementos tan pequeños como la célula. En 1665 Robert Hooke publicó *Micrographia*, donde por primera vez encontramos imágenes realizadas gracias a la observación a través de un microscopio y, por lo tanto, se representa de forma fiel el mundo microscópico.

¹ Véase Mankiewicz, R. (2000). *Historia de las matemáticas: del cálculo al caos* / Richard Mankiewicz. Paidós.



Astrónomo empleando un horologium cum fistula. s. XIV. Manuscrito



Satélite Landsat. 2021. NASA's Goddard Space Flight Center

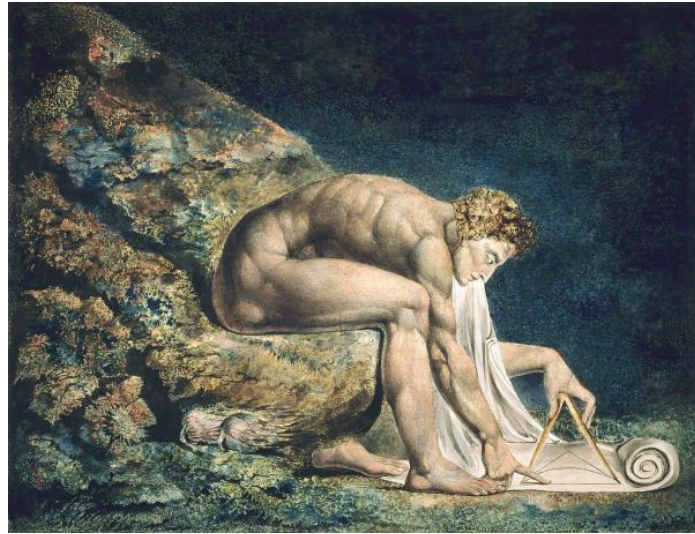
Y desde entonces, cada vez más se han ido sofisticando y perfeccionando las distintas herramientas que nos permiten ver más allá de nuestra vista. En la actualidad, da igual dónde te encuentres, internet y el aumento vertiginoso del uso de los teléfonos móviles y redes sociales te permite poder visualizar cualquier parte del mundo de una forma rápida y sencilla.

Este fenómeno lo hemos normalizado hasta el punto de restarle importancia a lo que vemos y lo increíble que resulta la facilidad de traspasar nuestros límites de percepción.

“La percepción visual es en sí misma un proceso en el tiempo, y no resulta ser un proceso muy rápido.” (Gombrich, 1991, pg. 47)

Una vez conocido el objeto en el que nos vamos a envolver y las extensiones que podemos encontrar, nos trasladamos al campo en el que se formalizan los instrumentos para trasladar la realidad a la representación.

3.1.2. Escala: relación entre realidad y representación



Newton, 1805. Grabado, 46 x 60 cm. William Blake

Para poder representar gráficamente lo que observamos a través de herramientas ópticas o directamente con nuestros propios ojos, es necesario establecer una serie de relaciones que nos permitan trasladar de forma proporcional aquello que, por sus grandes o pequeñas dimensiones, es imposible trasladar su tamaño natural a un soporte.

En este apartado definiremos el concepto de escala, los tipos y algunas herramientas que nos pueden ayudar a trasladar proporcionalmente elementos de la realidad al papel.

Qué es la escala.

“La escala es la relación métrica formulada con una razón matemática entre un dibujo y lo que se representa” (Cabezas, 2002, p.64)

Así define Lino Cabezas la escala, un término que puede ser empleado en muchos campos, más allá de la cartografía o la arquitectura. Puede hacerse referencia a una serie de elementos que tienen una cualidad en común, como una escala de colores, pero siempre encontraremos una característica común que podríamos decir que es establecer una relación entre un elemento y otro que coinciden de alguna forma, ya sea cualitativa, de forma, etc.

Sin embargo, nos vamos a centrar en el concepto de escala en el arte, en su uso para la representación de elementos de la realidad y, por lo tanto, en las relaciones que se establecen entre un objeto, su entorno y su representación. La escala ha sido siempre necesaria a la hora de trasladar un elemento de la realidad al papel, dado que es frecuente la imposibilidad de representarlo a su escala real.

Para ello, podemos emplear distintas estrategias, unas más exactas que otras. Dependiendo de la intención que tengamos a la hora de representarlo, nos

puede interesar emplear instrumentos como un escalímetro o simplemente representar un elemento conocido al lado para establecer una relación y poder comparar las dimensiones.

Tipos de escala

Resumiremos brevemente los diferentes tipos de escala.

Para ello, nos basaremos en la clasificación que hace Lino Cabezas y Luis F. Ortega en “*Análisis gráfico y representación geométrica*” (2001).

Escalas numéricas

Las escalas numéricas son fracciones en las que se representan la proporción entre la dimensión real de un elemento y su representación.

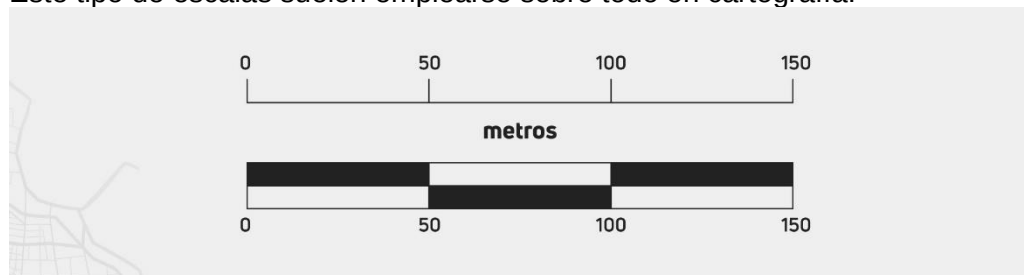
Para ello, se coloca en el numerador la escala del dibujo y en el denominador la del objeto representado. Podemos encontrar tres tipos:

1. **Escala natural:** cuando la dimensión del dibujo del objeto es igual a la dimensión del objeto en la realidad. El numerador y denominador tienen el mismo valor, 1:1.
2. **Escala de reducción:** cuando el dibujo es más pequeño que el objeto representado en la realidad. Suele mostrarse indicando el valor en la realidad de una unidad en el dibujo. Por ejemplo, un centímetro de longitud en el plano equivale a 50 centímetros en la realidad, por lo tanto, el denominador tiene un valor más alto que el nominador, 1:50.
3. **Escala de ampliación:** al contrario que la de reducción, esta se representa cuando la dimensión del dibujo es mayor que la dimensión del objeto en la realidad, por lo que el numerador es mayor que el denominador, 50:1.

Escalas gráficas

Las escalas gráficas son segmentos divididos proporcionalmente que nos indican de forma rápida y sin realizar cálculos, la relación de escalas entre el elemento en la realidad y su representación en el plano.

Suelen ir acompañadas por las escalas numéricas que determinan con mayor precisión a cuánto se ha reducido o aumentado su tamaño respecto al real. Este tipo de escalas suelen emplearse sobre todo en cartografía.



Ejemplo de escala gráfica. Fuente: Brasil Escola

Escalas relacionales

Otra forma sencilla de tener una idea de qué tamaño puede tener una forma o elemento es colocándolo cerca de otro cercano, con la finalidad de compararlo.

La mayoría de las veces se suele utilizar la figura humana, sobre todo en diseño y en arquitectura, llamado **escala antropométrica**.

Al colocar una figura conocida al lado de la otra, establecemos relaciones entre sus dimensiones para llegar a entender a qué escala respecto la figura reconocida se ha empleado.

Muchas veces suele emplearse alterando esa relación que había en la realidad entre las dos figuras para darle otro sentido o contexto.

Podemos encontrar muchos ejemplos en la ilustración infantil, donde alteran las escalas de las figuras para expresar sentimientos como la timidez, la ira o simplemente generar un mundo de fantasía donde los personajes pueden ser más pequeños o mucho más grandes que en la realidad.



Mi padre fue rey. Ilustración de Éric Puybaret. Eldevives, 2002

Escala antropométrica

Como hemos comentado en el apartado anterior, la escala antropométrica es la relación entre la representación de un cuerpo humano y otro elemento en un dibujo. Se emplea en diseño y arquitectura para tener una idea de qué tamaño tendría un edificio, espacio u objeto respecto nosotros. Suele ser la más utilizada puesto que naturalmente conocemos y hemos asimilado inconscientemente las proporciones y dimensiones humanas, por lo que representarnos resulta un recurso efectivo.

Encontramos un ejemplo en el famoso *Sistema Modulor* de Le Corbusier, explicado en su libro *El Modulor: ensayo sobre una medida armónica a la escala humana aplicable universalmente a la arquitectura y a la mecánica*. (1942).

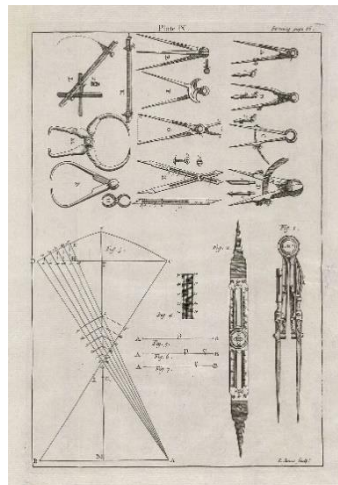
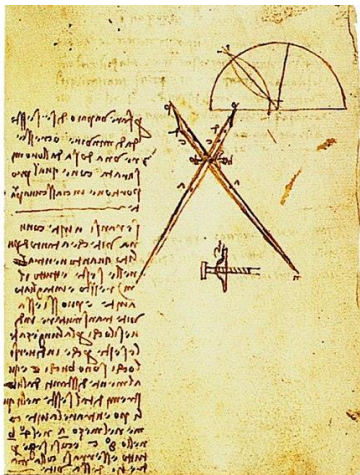
En él propone un sistema de medición que suplante a aquellos ya existentes y sea universal, que se centre en los elementos básicos del hombre y el universo, como la proporción áurea, la medida del hombre, el ángulo recto, entre otros. Quería emplearlo principalmente para el diseño industrial y la arquitectura, con la finalidad de generar un solo sistema que permitiera una mayor eficacia y comprensión a la hora de diseñar. Así lo decía:

“Cuando se trata de construir objetos de uso doméstico, industrial o comercial fabricables, transportables y comprables en todos los lugares del mundo, a la sociedad moderna le falta la medida común capaz de ordenar las dimensiones de los continentes y de los contenidos, y por tanto, de provocar ofertas y demandas, seguras y confiadas. A esto tienden nuestras energías y tal es su razón de ser: poner orden.” (Le Corbusier, 1942, p.20)

Escalas conceptuales

Las escalas conceptuales son aquellas que, más allá de mostrar la relación métrica exacta entre las dimensiones reales de una figura y su representación a través del dibujo, surgen de la intención conceptual que se tiene a la hora de dibujar. Esto permite centrarse en aspectos más concretos como la ornamentación o la volumetría. Por lo tanto, normalmente cada escala conceptual puede llegar a tener una escala métrica propia que le permita y ayude a representar mejor lo que está mostrando.

Herramientas y recursos



Boceto compás de reducción,
1490 Códice Forster, Leonardo da Vinci

Diseño de cuatro puntas. Nicolas Bion

Para conocer o determinar la escala de una figura en un dibujo existen también instrumentación que nos puede ayudar a trasladar proporcionalmente aquello que queremos representar en la realidad al plano.

Escalímetros

Un escalímetro es una regla que contiene diversas escalas en sus caras con la finalidad de poder trasladar las medidas reales de un objeto al dibujo de forma proporcional. Suele emplearse en la ingeniería, arquitectura, diseño... pero también en el ámbito educativo en asignaturas como dibujo técnico. Podemos encontrar diferentes tipos de escalímetros según la necesidad.

Plano

El más sencillo, consta de una regla en la que en la misma cara aparecen distintas escalas una al lado de la otra. Suelen llegar a tener dos escalas

Triangular

El escalímetro triangular tiene tres caras donde se muestran seis escalas en total, suele ser el más común y cómodo.

De abanico

El escalímetro de abanico es el que más número de escalas puede llegar a contener, ya que es un estuche alargado y plano en el que en su interior hay un repertorio de escalas unidas en un externo y pueden moverse de forma radial. Es una herramienta práctica y transportable.

De Sección Cuadrada

No es el más común y es parecido al triangular, sólo que su sección transversal es un cuadrado por lo que en sus cuatro caras se presentan cuatro escalas.

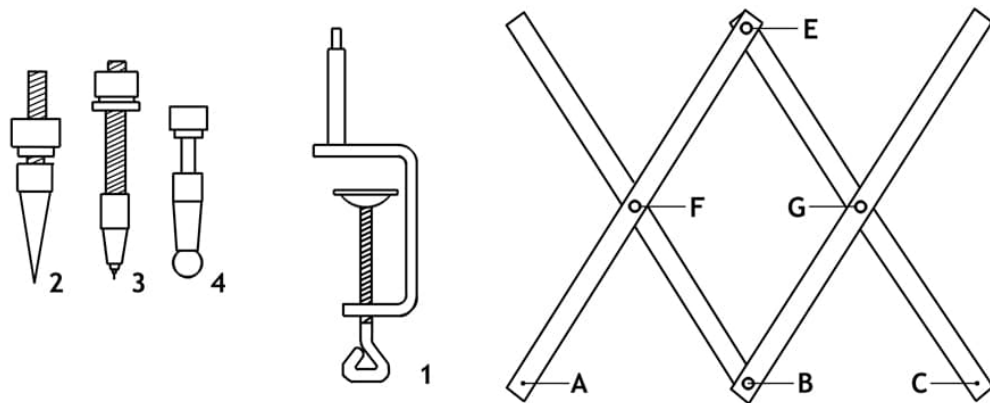
El divisor proporcional es una herramienta que permite trasladar fácilmente la escala de un dibujo a otra. Consta de dos patas que tienen la misma longitud entrecruzadas y unidas en su centro de forma que pueden abrirse o cerrarse. Según la escala que queramos emplear, la sujeción del centro se puede mover según si queremos que la reducción o aumento sea mayor.

Este instrumento, también llamado escala de reducción, tiene su origen en el siglo XV donde aparece por primera vez representado en un boceto de Leonardo da Vinci, pero no es hasta finales del siglo XVI cuando su forma se configura definitivamente.

Pantógrafo

El pantógrafo es una herramienta que se emplea para ampliar la escala de un dibujo, basándose en las propiedades de los paralelogramos.

Consta de unas varillas conectadas entre ellas, siguiendo el principio de homotecia, reproducen el dibujo de forma ampliada a la vez que se rodea el dibujo original



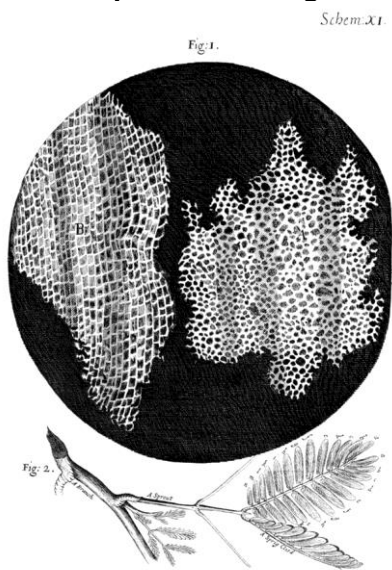
Partes del pantógrafo

Hoy en día podemos encontrar el pantógrafo de corte o láser, que son unas máquinas que realizan cortes o grabados sobre una superficie metálica o de madera, siguiendo el diseño creado por un programa computacional.

El diseño digital puede trasladarse a la realidad a la escala deseada.

Este tipo de máquinas nos permiten realizar diseños a cualquier escala y con un acabado más exacto y profesional.

3.1.3. El pensamiento gráfico. Hacer visible lo no visual.



Dibujo de estructura celular del corcho y una ramita de la planta sensible,.1665
Extracto de *Micrographia*. Robert Hooke

“El científico, como el artista, interpreta el mundo a su alrededor, y el que tiene en sí mismo por medio de imágenes(..) y descubrir y explicar requiere modelos perceptibles.”

(R. Arhneim,1969, pg. 271)

Al desarrollar nuevas teorías y descubrir hechos empíricos y científicos de la realidad ha sido siempre indispensable encontrar la forma más clara y eficaz para transmitir el conocimiento y dejar constancia de los descubrimientos.

Es por ello por lo que el pensamiento gráfico ha jugado un papel fundamental, la búsqueda mediante el dibujo de transmitir ideas y hechos.

Es relativamente sencillo trasladar un elemento de la realidad palpable y visible al papel, pero la cosa se complica al enfrentarnos a conceptos abstractos o muy alejados o que, aunque a través de un microscopio o telescopio pudiéramos observarlo, a la hora de representarlo deberíamos pensar cómo sería la mejor forma sabiendo que la gran mayoría de personas no tienen una referencia y no han visto nunca ese elemento u organismo en cuestión.

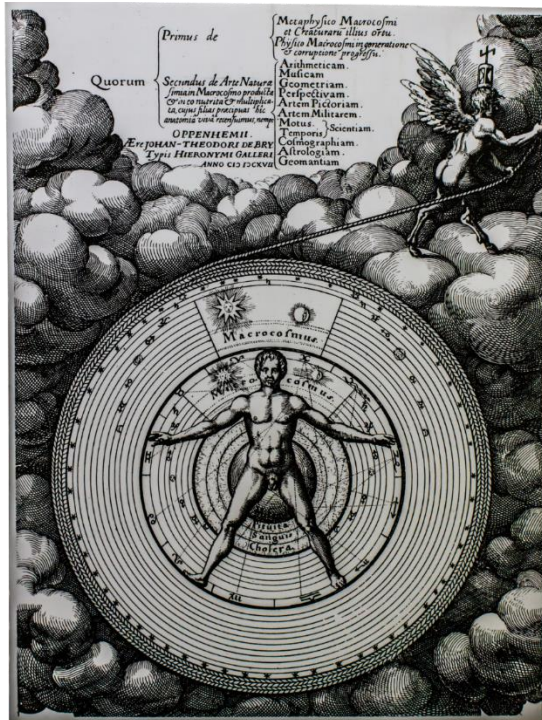
A medida que van avanzando los descubrimientos científicos y vamos entendiendo con mayor precisión el mundo que nos rodea, tanto aquél visible a simple vista como el que empleamos instrumentos ópticos para poder observarlos, vamos viendo cómo su representación cada vez es más detallada y se transforma, según las afirmaciones que se van haciendo. Sin embargo, podemos comprobar que, durante mucho tiempo, las formas geométricas simples han servido para representar y simplificar aquello que el ojo humano no alcanzaba, o como dice Rudolf Arnheim: *“hacer visible lo no visible”* (Arheim,1969). Un ejemplo claro lo encontramos en el círculo, forma que se ha empleado para representar el mundo, lo cosmológico, lo divino y lo terrenal, el universo.

“...la redondez se escogió espontánea y universalmente para representar algo que no tiene forma, que no tiene forma definida o que tiene todas las formas.” (Arheim, 1969, pg.276)

Poco a poco, íbamos relacionando formas simples con conceptos abstractos y complejos, ayudando a su comprensión y representación.

Durante el siglo XVII, se desarrolló la analogía microcosmos-macrocosmos, que sencillamente era la relación entre el universo y el ser humano, cómo el último es la representación a escala reducida del cosmos.

El filósofo griego Parménides empleó la esfera para representar la totalidad y consumación del mundo, representando a Dios como el límite de la esfera, lo muy grande, y el centro con lo humano, lo pequeño e insignificante. Esta idea se pretende representar en una ilustración de Robert Fludd (1574-1637) donde vemos un ser humano que dentro de un círculo en el que están representados los cuerpos celestes.



Utrisque Cosmi Maioris scilicet et Minoris Mataphysica, Physica Atque Technica Historia, 1617. Robert Fludd

Si viajamos un poco más hacia atrás, podremos ver una representación muy parecida en el tratado de Gregor Reisch “*Margarita philosophica*” (1503).

A pesar de que, gracias a la evolución de la instrumentación óptica y las nuevas tecnologías, cada vez más se ha reducido el uso de la esfera como elemento representativo de lo impalpable, hoy en día podemos ver cómo algunas configuraciones permanecen, ya sea en la representación del modelo atómico o el sistema solar. Esto se debe al potencial perceptual que estos modelos transmiten.



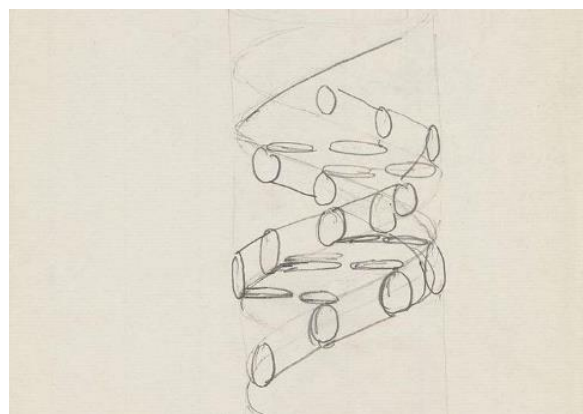
Imagen del mundo en la Margarita philosophica, 1503. Gregor Reish

En el mundo científico es y ha sido muy importante buscar formas eficaces de transmitir y representar nuevos elementos, fórmulas, microorganismos, etc.

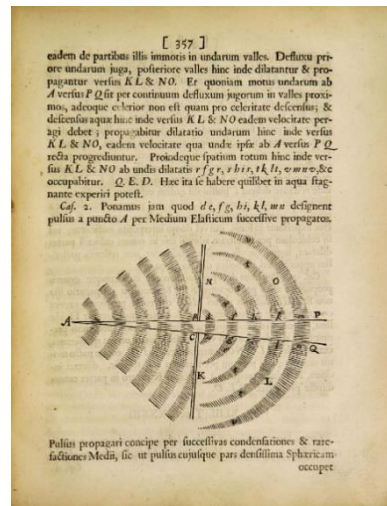
Al tener que representar muchas veces fenómenos imperceptibles a nuestros ojos, como la fuerza, la velocidad, la temperatura...era muy importante saber emplear los recursos gráficos y símbolos correctos para su entendimiento.

En 1687, el científico Isaac Newton (1642-1727) publicó *Philosophiæ naturalis principia mathematica* (1687) donde explica las tres leyes del movimiento

(Ley de la Inercia, Ley de la Aceleración/ Fuerza y Ley de Acción y Reacción) y los fundamentos de la física y astronomía empleando la geometría. Otras veces, los descubrimientos microscópicos necesitaban sintetizarse para llegar a comprenderse.

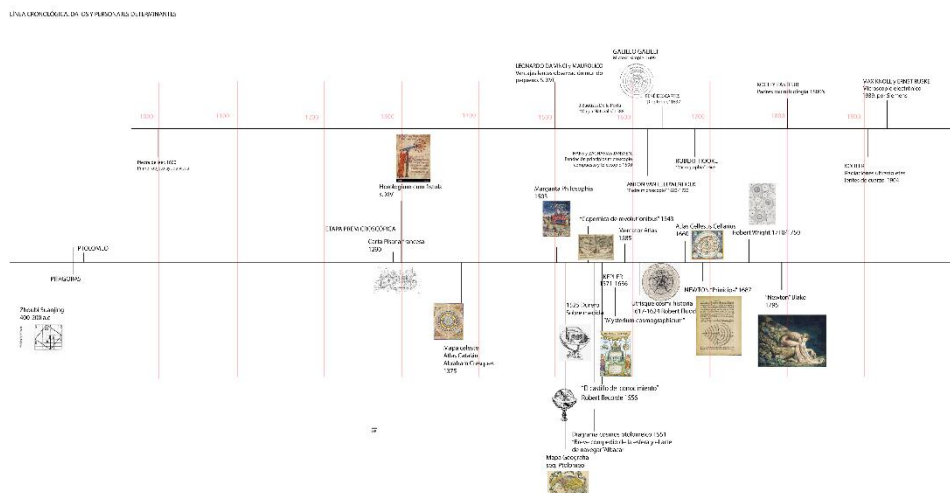


Dibujo ADN hélice doble, 1953. Francis Crick



Página de Philosophiæ naturalis principia mathematica, 1687.Isaac Newton

Es por eso por lo que el científico muchas veces tomaba el papel de dibujante. Un ejemplo claro lo encontramos en el famoso icono del ADN. Todo el mundo en su imaginario conoce la representación del ácido desoxirribonucleico, aunque en la realidad no sea así. Aunque mucho antes ya se empezó a manipular e investigar, no fue hasta 1953 cuando el físico Francis Crick (1916-2004) esbozó por primera vez la forma en la que hoy en día reconocemos al ADN, con su doble hélice. Resulta interesante el proceso de simplificación y comprensión de la forma a la hora de representar sobre un papel aquello que observaba desde una fotografía obtenida a partir de una difracción de rayos X. Hoy en día, se ha convertido en un símbolo universal que todo el mundo puede identificar y reconocer.



Mapa mental, líneas cronológicas. Evolución microscopio y la representación del mundo, 2023(click para descargar)

3.2. LA ESCALA COMO RECURSO EN EL ARTE.

3.2.1. El tamaño sí importa

El tamaño de los objetos y elementos que nos rodean es un factor que determina en parte en cómo interactuamos con ello, en el grado que nos puede llegar a impactar o generarnos indiferencia. En nuestro día a día, los objetos con los que interactuamos suelen tener un tamaño al que ya nos hemos acostumbrado, muchos de ellos su escala está pensada y medida para que nos resulten funcionales, cómodos y atractivos.

Eso es porque casi todo lo hemos construido a nuestra medida, e incluso, evolutivamente hablando, muchos animales han reducido su tamaño respecto como eran primitivamente.

Hemos escalado el mundo a nuestra medida.

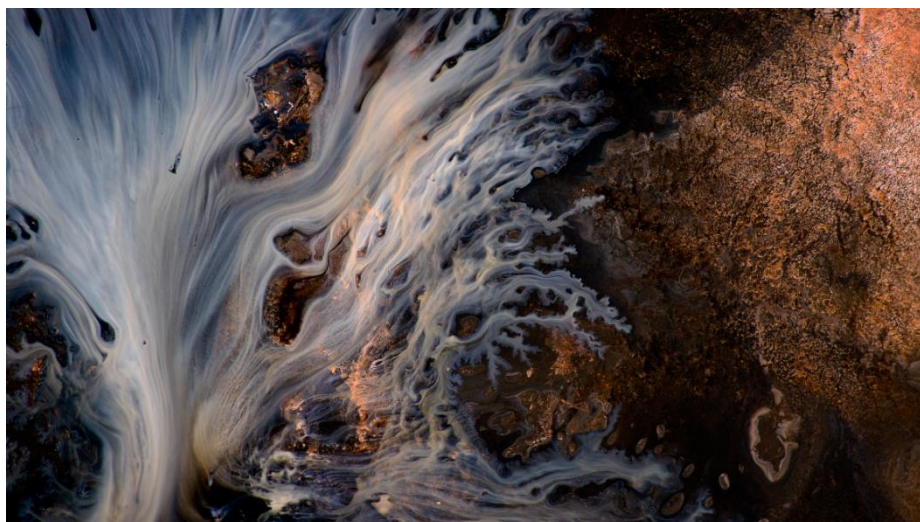
Sin embargo, en la naturaleza, podemos encontrar aún elementos y paisajes que van más allá, como las secuoyas o las grandes cascadas, que nos impacta y nos llama la atención por su tamaño, ya que no estamos acostumbrados a tales dimensiones.

Si vamos a la arquitectura, podemos encontrar el monumentalismo, esas construcciones que se realizan a una escala mucho mayor de la que estamos acostumbrados con la intención de imponer, sorprender, mostrar poder e, incluso, parecer como si el ser humano debiera rendirse a sus pies.

Entre otras cosas porque en los objetos de mayor escala (como los edificios) se da muy claramente la relación espacio interior/exterior, reflejo de nuestra propia experiencia. Esto no ocurre, en general, en los objetos más pequeños y si ocurre se tiende a considerarlos como reproducción a escala de otro objeto mayor.

Esta importancia de escala de los objetos está directamente relacionada con los conceptos de comunidad y privacidad. Los espacios comunitarios-como la calle- tienen siempre una mayor escala que los privados-la propia casa-, y lo mismo ocurre con los objetos que los conforman. Así los objetos de los espacios comunitarios tienen un significado más universal que los privados.

3.2.3. La alteración de la escala como recurso



Fotograma de A SENSE OF SCALE-REMINISCENCE/8K HDR FLUID LANDSCAPES ON PAPER, 2022. Vídeo.Duración: 6m25s. Román de Giuli

Ahora que hemos definido el concepto de escala y hemos visto la importancia a la hora de interactuar y entender nuestro entorno y las imágenes, nos centraremos en varios ejemplos de artistas que utilizan la escala como un recurso narrativo para su obra, generalmente alterando exageradamente la escala (micro o macro) y jugando con ella con la finalidad de impactar al espectador o transmitir algún mensaje.

En la fotografía superior, podemos ver como una especie de paisaje natural, algo rocoso y con algún tipo de río que va ramificándose. Sin embargo, los elementos que aparecen no llegan ni de lejos a las dimensiones de un gran paisaje como podría ser el Gran Cañón.

Se trata de un conjunto de pigmentos y flujos empleados por el artista Roman de Giuli² con los que juega y genera estos resultados a pequeña escala que parecen vistas de satélite de la Tierra.

En un vídeo donde aparece el proceso, podemos ver como en un momento, aparecen unas pinzas y cuenta gotas que nos ayuda a reinterpretar la imagen y entender realmente qué estamos viendo.

² Véase el vídeo en: De Giuli,R [Roman de Giuli] (10 de octubre 2022). A SENSE OF SCALE-REMINISCENCE / 8K HDR FLUID LANDSCAPES ON PAPER.Url: <https://www.youtube.com/watch?v=52EQpOvgVq8>



Fotograma A SENSE OF SCALE- REMINISCENCE/ 8K HDR FLUID LANDSCAPES ON PAPER, 2022. Vídeo. Duraación: 6m25s. Roman de Giuli.

Un gran experto en la alteración de la escala, sobre todo en el aumento de elementos cotidianos, lo encontramos en el artista pop Claes Oldenburg (1929 – 2022). Su obra destaca por el aumento colosal de objetos que podemos encontrar en nuestro día a día, dignificándolos, dotándolos de belleza e importancia. Un enchufe, una caja de cerillas o una cuchara de plástico son elementos insignificantes y carentes de valor cuando los encontramos en su tamaño estándar, sin embargo, la simple alteración de su tamaño hace que adquiera un significado nuevo y transmita un mensaje. Un mensaje que nos hace pensar acerca del consumo, del valor del objeto, de la cotidianeidad y la cultura pop.

Al cambiar la escala, también cambia la forma de relacionarnos con el objeto: no podemos verlo entero con una simple mirada, debemos rodearlo, ladearlo, observar durante más tiempo, dedicarle más tiempo a la percepción. Actualmente podemos encontrar otro artista como Brock Davis que emplea la alteración de la escala como recurso para colocar alimentos en otros contextos o haciendo que nos recuerde a otros objetos o seres vivos totalmente diferentes.



Cucumber Killer Whale, 2012. Escultura. Brock Davis

Si vamos al extremo opuesto de Oldenburg, podemos encontrar artistas como donde la conversión de escala se realiza hacia lo diminuto, microscópico. Este es el caso de la artista Klari Reis, que emplea la microbiología y la observación de distintas reacciones de sus células a través del microscopio.



150 Piece Petri Dish Installation,
Instalación. Klari

Actualmente podemos encontrar un libro llamado "*Big art/ Small Art*" (2014) en el que su autor, Tristan Manco, recoge una lista de artistas que su obra se centra y se caracteriza por el tamaño de sus elementos, ya sea a gran escala o a diminuta.

A parte de las artes plásticas, podemos encontrar muchos ejemplos en el cine y literatura. Por ejemplo, tenemos *Los viajes de Gulliver* (1726) de Jonathan Swift (1667-1745) y llevada a la gran pantalla en 2010, donde el protagonista aparece en un mundo de personas minúsculas, donde él es un gigante. *Pulgarcito* (1697) de Charles Perrault (1628-1703), al contrario, es un personaje pequeño que tiene que lidiar con su tamaño en un mundo, para él gigante.



Fotograma "Los viajes de Gulliver", 2010. Película, Rob Letterman (director)

Ambas historias se centran en la relación entre el tamaño del protagonista y su entorno, el gran contraste que se genera es la característica central que, sin ella, no tendría sentido la historia. Podemos ver cómo juegan con la escala en *Alicia en el país de las maravillas* (1865) de Lewis Carroll (1832-1898) cuando Alicia bebe y come sustancias que la empuñeñecen o la agigantan.

En la gran pantalla podemos ver el claro ejemplo del mítico *King Kong* (1933), un gorila gigante que escala el Empire State y hace que el edificio parezca más pequeño e insignificante.

Jugar con la escala es un recurso fundamental para el cine, ya que permite representar paisajes imposibles y jugar con el tamaño de los personajes respecto a su entorno.

No podemos obviar el trabajo del director artístico y escenógrafo (entre otras cosas) Emilio Ruiz del Río (1923-2007) del cual destacaron sus formidables escenografías realizadas a mano sobre paneles de cristal, donde el juego de la perspectiva jugaba un papel fundamental a la hora de introducirlas en la escena con los personajes y todo encajara de forma creíble³.

Para conocer mejor el mundo de los efectos especiales del cine, tenemos *Sense of scale* (2011), un documental en el que se muestran a los profesionales que se dedican a los efectos especiales de películas realizando escenarios en miniatura, entre otros.

³ Véase el documental Monleón, S. (Director). (2008). *El último truco* [Documenta]. Aiete-Ariane Films

3.3 MÁS ALLÁ DE LA ESCALA: LO FRACTAL.

Y hasta aquí hemos llegado, a la geometría fractal. Una geometría que da sentido a muchas formas de la naturaleza que, a primera vista, aparentan ser aleatorias, desordenadas, caóticas.

Pero, como en todo, dentro de ese caos hay un orden.

Tras dar un repaso de cómo el ser humano ha ido salvando las distancias de lo desconocido, cómo ha podido representar aquello microscópico o macroscópico en el papel a través de sistemas de escala y herramientas, llegamos a una geometría que describe formaciones que podemos encontrar de cualquier tamaño sin alterar su proporción, es decir, van más allá de la escala.

3.3.1. Geometría fractal.

En 1975, un joven matemático llamado Benoît Mandelbrot que trabajaba en la IBM, acuñó el término “fractales” a aquellas formas “quebradas” ignoradas por la geometría tradicional. Gracias al uso de las computadoras, Mandelbrot pudo iterar de forma infinita una ecuación propuesta por Gaston Julia en 1918 transformando los números en puntos gráficos y, con ello, generando fractal. Esta geometría, ya suscitaba interés años atrás, al intentar comprender muchas de las formas de la naturaleza, cómo se construía y se estructuraba. Autores como Koch o Sierpinski, consiguieron generar estructuras quebradas que podían repetirse hasta el infinito, sin embargo, en su época, fueron acuñadas como “monstruos” dada su rareza.

Así que podemos decir que el intento de entender aquellas formas que se escapaban de la geometría “tradicional” no era algo nuevo, sino que se desarrollaron teorías y fórmulas con la intención de acercarse a lo desconocido. Mandelbrot critica a aquellos que negaban la existencia de otra geometría que no fuese la euclidiana: “han optado por huir de lo natural, ideando teorías que nada tienen que ver con aquello que podemos ver o sentir”⁴.

Gracias a la aportación de Mandelbrot y el uso de las computadoras, lo “amorfo” lo irregular, lo rugoso, todo aquello descartado por la geometría euclidiana, cobró un sentido y un orden en un aparente caos. A pesar de ello, Mandelbrot reconoce hay algunos conjuntos fractales no ha sido capaz de describir ni clasificar.

“Algunos conjuntos fractales son curvas o superficies, otros “polvos” inconexos, y también los hay con formas tan disparatadas que no he encontrado, ni en ciencias ni en las artes, palabras que lo describieran bien”
(Mandelbrot, 1982, p.15)

La geometría fractal pronto adquirió un gran interés en el mundo de la matemática e informática, pero también llegó al mundo del arte, creando un movimiento y una estética propia.

En la actualidad podemos encontrar diversos artistas que emplean la geometría fractal en su trabajo. De hecho, existe un movimiento artístico llamado *Fractalismo* o Fractal Art que surgió a finales del siglo XX tras la popularización

⁴ Mandelbrot, B. B., & Llosa, J. (2009). La geometría fractal de la naturaleza / Benoît B. Mandelbrot ; traducción de Josep Llosa (3a ed.). Tusquets pg. 15

de la geometría fractal gracias a *La geometría fractal de la naturaleza* (1982) de Benoît Mandelbrot. Este movimiento tiene como base dos manifiestos destacables: el primero, en 1999 por Kenry Mitchell llamado "*The fractal art manifesto*"⁵, establece las características principales del Arte Fractal, diferenciando lo que es y lo que no es. Por ejemplo, menciona que, aunque se generen imágenes a partir de computadoras, no quiere decir que todo aquél que tenga un ordenador sea capaz de realizar una pieza artística. Por lo tanto, para él, el Arte Fractal no es:

"Algo que cualquiera con un ordenador puede hacer bien. Cualquiera puede coger una cámara y hacer una instantánea. Sin embargo, no cualquiera puede ser un Ansel Adams o una Annie Liebovitz. Cualquiera puede coger un pincel en la mano y pintar. Sin embargo, no cualquiera puede ser una Georgia O'Keeffe o un Pablo Picasso." (Mitchell, 1999)

Otro manifiesto⁶ destacable en este movimiento es el de la arquitecta uruguaya Eva Neuer(1963) en 2000, en el que va un paso más allá, introduciendo el *Fractalismo* en la filosofía y aplica las características de los objetos fractales a una forma de pensar y actuar:

"Se propone designar como Fractalismo a un modo de entender al mundo y una actitud vital subyacente hoy en las acciones de muchas personas."
(Eva Neuer,2000)

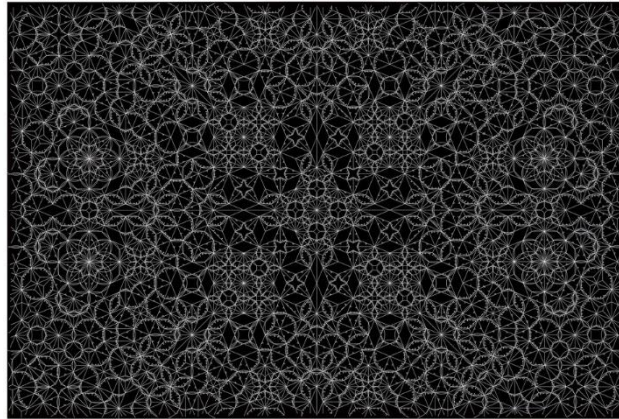
La autora explora la "identidad fractal" en su libro "*HIPERSER. Identidad y Fractalismo*" (2012) y su implicación en el conocimiento, ética, antropología filosófica y argumentación

Artistas como Timo Nasser (1972) o Michael Hansmeyer (1973) trabajan con la geometría fractal en sus trabajos. Por un lado Nasser lo emplea para realizar piezas con técnicas tradicionales como por ejemplo *One And One #45*⁷ (2023).

⁵Mitchell, Kerry. "The fractal art manifesto." [Online]. Disponible en: <https://www.fractalus.com/kerry/articles/manifesto/fa-manifesto.html> (1999).

⁶ Neuer, Eva. "Manifiesto del Fractalismo" [Online] Disponible en: <https://fractalismo.org/>
Consulta: 09/06/2023

⁷ Véase los detalles de la obra y su proceso de creación en: Nasser,T. One and one drawing.Timo Nasser: <https://www.timonasser.com/one-and-one/2016/12/2/one-and-one-drawing>



One and one #45, 2023. Tinta sobre papel pigmentado. 106cm x 156,5cm



Modelo 3D para escenografía de la Flauta Mágica, 2019.
Escenografía. Michael Hansmeyer

Por otro lado, el arquitecto y programador Michael Hansmeyer emplea los algoritmos computacionales para generar formas arquitectónicas visualmente sorprendentes y atractivas que invita a los espectadores a interactuar con ellas.

En la galería Tang Contemporary Art de Hong Kong se pudo ver una exposición del artista You Jin (Shenyang, China, 1979) llamada *You Jin: Fractal dimension* (desde el 13 de febrero al 15 de marzo de 2023) comisariada por Fiona Lu y Han Yali. En la exposición se exhibieron dieciséis obras en las que el artista emplea la superposición y reconstrucción de imágenes creando estructuras fragmentadas a través de las cuales muestra sus emociones internas.



Entering the Realm on a Boat, 2017. Óleo sobre lienzo.

240cm x 180cm x 3cm. You Jin.

3.3.2. Características de los fractales.

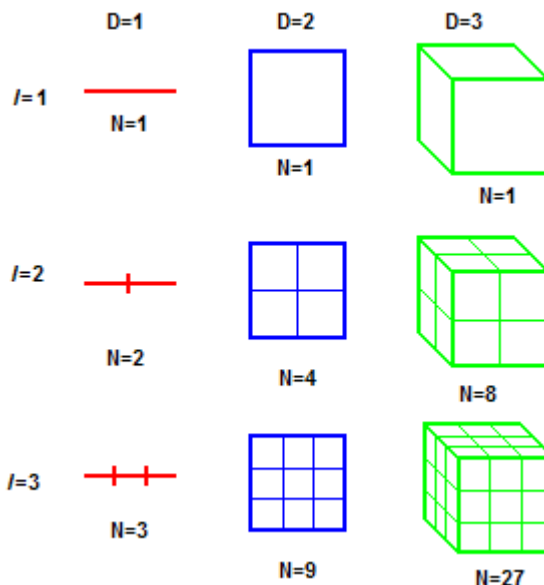


Detalle "Prueba-ramo", 2023. Ilustración digital.

La geometría fractal pretende darle un sentido y teorizar sobre formas y estructuras que podemos encontrar a distinta escala. La gran mayoría de los fractales son **escalantes**, es decir que su grado de irregularidad y/o fragmentación es idéntico a todas las escalas.

Es decir, podríamos decir que podemos encontrar las mismas formas irregulares en la naturaleza a distintas escalas, ya sea gigante o microscópico. Pero si tuviéramos que destacar una característica predominante, relacionada con la anterior, ésta sería la **autosemejanza** o **autosimilitud**.

Este término hace referencia a que un fragmento de una forma fractal es igual que su totalidad, por lo tanto, no se distinguen en el cambio de escala. La proporción entre los fragmentos se mantiene. Un ejemplo sencillo podría ser un árbol y su ramificación. El patrón de división de los nodos entre el tronco y las ramas principales se repite en el resto de la ramificación del árbol.



Dimensión fractal, 2008. Fuente: Fractals & the Fractal Dimension en Wayback Machine

Otra característica es que su **dimensión fractal** debe ser mayor que su Dimensión topológica. La dimensión fractal mide la rugosidad de la forma fractal, y se encuentra entre las dimensiones topológicas.

Por lo que, si una dimensión fractal puede ser 2'68. A mayor dimensión fractal, mayor rugosidad, más complejo y fragmentado.

Hasta los años setenta del siglo pasado, no se relacionaba la Teoría del Caos y la geometría fractal, sin embargo, resultaron estar relacionadas: ambas pretenden darle una estructura a lo irregular.

Tanto los sistemas caóticos como las formas fractales no son perfectas, son sensibles a las variaciones.

Un sistema caótico puede encontrarse en las llamas del fuego o las olas del mar y la geometría fractal, a través de la matemática, da sentido a muchas de los fenómenos y estructuras de la naturaleza.

El fractal antes del fractal

La geometría fractal se ideó como una geometría de la realidad, que representa y podemos percibir en la naturaleza, en lo palpable, a diferencia de la euclidiana. Hoy en día la geometría fractal se emplea mucho más que para comprender las estructuras de nuestro entorno natural, sino que se utiliza para la predicción de la bolsa, predecir la evolución de un tumor, o predecir la extinción de especies.

También se ha utilizado en el cine, de hecho, *Star Wars: Episode III - Revenge of the Sith* (2005) fue una de las primeras películas en las que se empleó la geometría fractal para los efectos especiales, generando lanzamientos y ríos de lava visualmente más interesantes aplicando el espiral fractal⁸.

Como hemos mencionado anteriormente, Mandelbrot manifiesta abiertamente que su aportación a la geometría fractal viene influenciada y sustentada por grandes teóricos que establecieron las bases de la geometría fractal, entre ellos Wacław Franciszek Sierpinski (1882- 1969), Gaston Julia (1893 - 1978) y Helge von Koch (1870- 1924).

Así lo plasmaba Benoit en su manifiesto:

“En efecto, la geometría fractal como tal data de 1975, pero muchos de sus útiles y conceptos son anteriores, y aparecieron para satisfacer objetivos muy distintos de los míos. Mediante esas piedras antiguas encajadas en una estructura recién construida, la geometría fractal pudo “tomar prestada” una base excepcionalmente rigurosa y pronto planteó preguntas nuevas y compulsivas en el terreno de la matemática” (Mandelbrot, 1982, p.16)

Cada autor creó sus propios “monstruos” que fueron pilares para entender la geometría fractal.

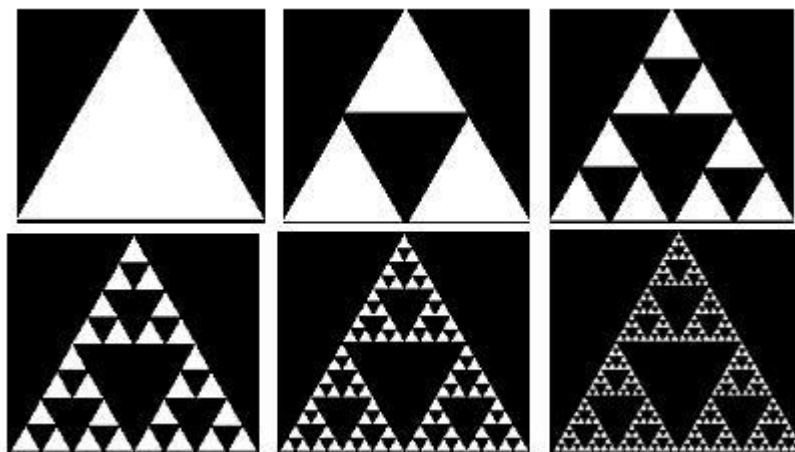
⁸ Jersey,B. (Director) Schwarz, M. (Director) (2008, 28 octubre) Hunting the Hidden Dimension (Temporada 35, episodio 14) [Capítulo de serie de televisión]) Paula S. Apsell (Productor ejecutivo) *Hunting the Hidden Dimension*. Quest Productions (Productoria) Kikim Media (Productora) asociado por The Catticus Corporation

El triángulo de Sierpinski

Wacław Sierpiński (1882-1969) fue un matemático polaco que, entre otras aportaciones como la fundación de la escuela matemática moderna, dedicó una gran parte de sus estudios en los fractales, creando su propia forma fractal auto-similar que lleva su nombre, el Triángulo de Sierpinski.

El Triángulo de Sierpinski es un objeto fractal compuesto por un triángulo equilátero el cual sufre un número infinito de iteraciones que van dividiéndolo en triángulos más pequeños, es decir, se desarrolla mediante homotecias. Conforme se van sucediendo las iteraciones, el área total del triángulo se va desvaneciendo hasta cero y el perímetro de los triángulos que se van generando tenderá al infinito. Los triángulos, se van eliminando y por lo tanto el área se va reduciendo.

Aunque hemos comentado anteriormente que, según Mandelbrot, una de las características de los objetos fractales era que su dimensión topológica era menor a su Dimensión fractal, el Triángulo de Sierpinski no cumple con esta característica, pues el triángulo tiene una dimensión topológica de 2 y su dimensión fractal es de 1,585 aproximadamente.



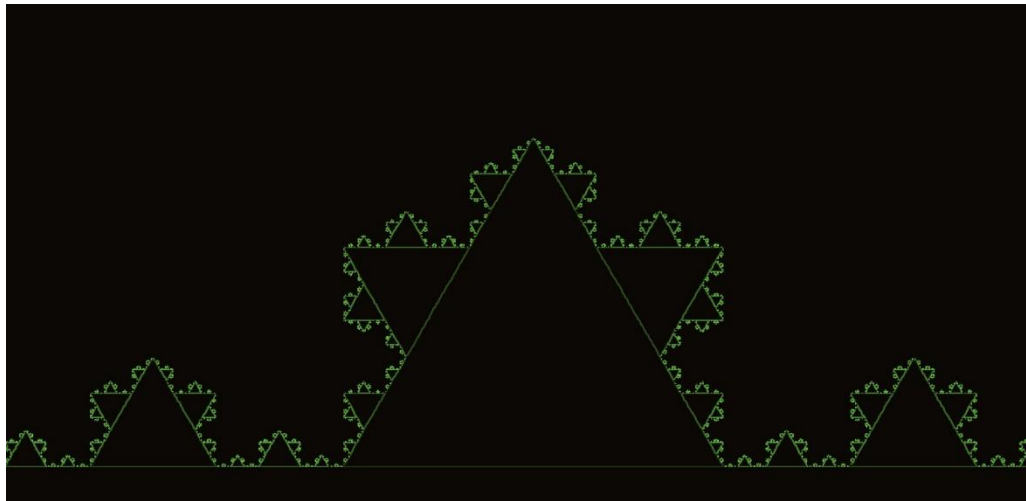
Iteraciones del Triángulo de Sierpinski, 2013 Fuente: Asociación Ceat. José Ignacio Argote

La curva de Koch

La curva de Koch fue desarrollada por el matemático Helge von Koch (1870-1924) en 1904, consta de un segmento que se divide en tres partes iguales, a continuación, la parte central se cambia por dos segmentos que cada uno tiene el mismo tamaño que el eliminado, por lo que se genera como una punta. A partir de ahí, se sigue el mismo procedimiento con cada uno de los segmentos (1, $4/3$, $16/9$, etc.) hasta el infinito.

En este caso sí que su dimensión topológica (al ser una línea es 1) es menor a su dimensión fractal, 1,27. La curva se fracciona, se quiebra.

Cuando encontramos esta curva cerrada la conocemos como copo de nieve de Koch, estrella de Koch o isla de Koch.



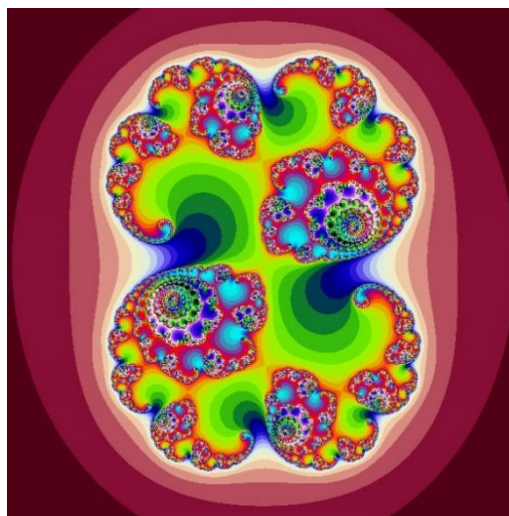
Fragmento Curva de Koch, 2023. Generado a partir de Xaos

El Conjunto de Julia

El conjunto de Julia fue creado por el matemático francés Gaston Julia (1893-1978) que se obtiene al estudiar cómo se comportan los números complejos al ser iterados por una función. Para ello, fue imprescindible el uso de ordenadores para realizar los infinitos cálculos, por lo que hasta los años ochenta cuando Mandelbrot introdujo esos cálculos en un ordenador, no pudo obtenerse el resultado gráfico.

Los resultados de los cálculos y sus iteraciones se traducen en la pantalla del ordenador en colores, cada píxel representa un resultado.

Es por eso por lo que, normalmente veamos este tipo de conjuntos muy coloridos.



Conjunto de Julia, un fractal. $C = [0.285, -0.01]$ Fuente: Wikipedia

Inspirándose en lo fractal en la naturaleza

Sin tener en cuenta estos conceptos matemáticos, simplemente centrándose en la observación directa del entorno, en cómo se manifiesta en la naturaleza esta geometría, cómo muchos pensadores y artistas intentaron acercarse a ella y comprenderla.

Leonardo Da Vinci (1452-1519), como bien sabemos, un curioso patológico, siempre tuvo un interés excepcional sobre cómo funcionaba las cosas, sobre todo la naturaleza. Podemos ver en sus dibujos la intención de querer llegar a la esencia de la forma de los elementos naturales, así como conchas, flores y fenómenos meteorológicos.

Si viajamos a Japón, podremos encontrar a Hokusai (1760-1849), donde en su famosa estampa japonesa *La gran ola de Kanagawa* (1831) podemos ver cómo se acercaba a lo fractal fragmentando la cresta de la ola utilizando la misma forma que tenía la ola en su totalidad.

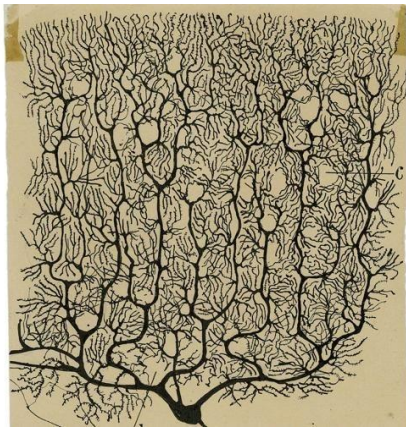
Estaba delante de nuestras narices, pero no le dábamos un sentido.

El ilustre médico y científico Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) realizó unos dibujos representando gráficamente: que el tejido cerebral está compuesto por neuronas y cómo la información fluía por ellas. Aunque no fuera su intención, dejó una clara evidencia gráfica de que los fractales también se encuentran en nuestro cuerpo. Estas conexiones entre el cuerpo humano y el entorno natural nos pueden recordar a la teoría del microcosmo y macrocosmo del siglo XVII explicada brevemente en el apartado 3.1.3. de este trabajo.

En las imágenes que aparecen a continuación podemos ver muchas similitudes en cuanto a las estructuras que aparecen representadas. Sin embargo, las tres representan elementos de la naturaleza diferentes: montañas de arena, una red neuronal y un conjunto de nubes. Comparando las tres imágenes a la vez, podemos llegar a ver cómo las estructuras fractales se reproducen a distintas escalas y en formaciones totalmente dispares, desde la estructura del cuerpo humano hasta la formación geológica de un territorio.



Captura sacada de Google Earth, 2023.



Izq. Células de Purkinje, 1904. Dibujo. Santiago Ramón y Cajal

Dcha. Diluvio, 1480. Dibujo. Leonardo da Vinci

Gracias al desarrollo de la instrumentación óptica y, más recientemente, los satélites, hemos podido observar que los fractales abundan a distintas escalas y que sus formas se asemejan, ya tengan cientos de kilómetros de recorrido o escasos milímetros.

La escala en los fractales

Los fractales al ser autosimilares, no distinguimos su escala ya que un fragmento contiene la misma estructura y proporción que la forma global. Si aumentáramos o redujéramos una estructura fractal, sus proporciones no variarían, pues siguen el principio de homotecia.

La homotecia es la relación geométrica que establecen dos figuras al tener sus puntos alineados a un punto fijo, por lo que ambas mantienen la misma proporción. En los fractales podemos encontrar la homotecia interna y la externa, ya que esa relación se va desarrollando hacia adentro o aumenta y se expande.

Es por eso que muchas veces podemos encontrar un conjunto de montañas que, vistas desde el aire, que recuerdan a las ramas de un árbol.

Benoît Mandelbrot en su libro *“Los objetos fractales: forma, azar y dimensión”* (1987) menciona la relación entre el azar y la escala en los objetos fractales. El azar actúa del mismo modo en los objetos fractales sin importar su escala, debido a su homotecia interna.

“... la homotecia interna hace que el azar tenga la misma importancia a cualquier escala, con lo que no tiene ningún sentido hablar de los niveles macroscópico y microscópico.”
(Mandelbrot, 1984, p.52)

Los fractales, al tener estas características de autosemejanza y homotecia, es posible llegar a conocer una estructura completa con sólo un fragmento, ya que al final esa parte se irá repitiendo a distintas escalas.

“La importancia de los fractales puede radicar en que, conociendo una pequeña parte de ellos, es posible reconstruir toda su estructura, pues se trata de un patrón autosemejante que se repite a diferentes escalas.”
(Rivera & López, 2012 p.123)

3.3.3. Estética fractal

Tras haber analizado las características esenciales y generales de la geometría fractal, podemos determinar que, más allá de la matemática, también tiene un interés estético. Si dejamos a un lado la perfección numérica de los elementos fractales y las ecuaciones que determinan la forma de cada una, podemos “comparar” peculiaridades visuales y la forma en la que se generan con el arte y el proceso de creación de una obra.

Mandelbrot ya en su libro *“La geometría fractal de la naturaleza”* (1982) compara la estética y la forma de creación de artistas como Hokusai con los fractales de la naturaleza. Que los objetos fractales no estén representados matemáticamente perfectos, no descarta que su forma y construcción comparta características con los fractales puros. A lo largo de la historia, podemos encontrar distintos ejemplos de geometría fractal aplicada a las artes a pesar de ser piezas que no contengan una repetición infinita.

La Alhambra (Granada) es un claro ejemplo de cómo se ha plasmado la geometría fractal, aún sin haberla definido así. En 2003, se publicó un artículo por el Patronato de la Alhambra y Generalife donde se exponía la relación entre las características de la religión islámica, su arte y la geometría fractal:

“... los constructores de la Alhambra, si no tenían conocimiento de la Geometría Fractal, podríamos decir que lo intuían, o que estaba presente en sus conocimientos sin estar desarrollada y estudiada tal y como hoy la conocemos”.

(López, S., López, L., del Rosario, M., López, C. M., & López, D. J., 2003, p.40)

La idea cosmológica del islam, sobre la unión entre el microcosmos y macrocosmos, que un solo creador crea y dirige todo, el orden dentro del caos... son aspectos que se vinculan con lo fractal. Aplicaban la matemática y geometría para abstraer y representar la naturaleza y las yeserías de la Alhambra son un claro ejemplo de ello.



Techo Sala Abencerrajes, Alhambra.

Escher y la Alhambra: la partición periódica de la superficie

No podíamos no mencionar al brillante Maurits Cornelis Escher (1898-1972), artista que aplicó la alteración de la escala y la estética fractal en muchas de sus obras. Una de las obsesiones de Escher era intentar representar el infinito sobre el papel, y lo consiguió tras una visita a la Alhambra de Granada.

Estudió concienzudamente la ornamentación del monumento nazarí, su geometría y las composiciones de las teselas que, como hemos comentado anteriormente en este capítulo, tiene características fractales. Empleando figuras como animales o personas, Escher, aplicando la homotecia y la autosimilitud, repetía la figura hasta no dejar un hueco libre, reduciendo su tamaño... hasta el infinito.

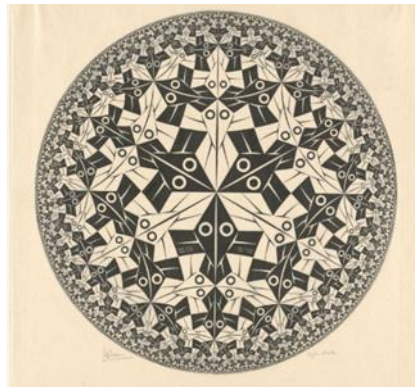
Sobre la superficie, Escher marcaba el punto del infinito, que podía estar en el centro, como en *Smaller and smaller I* (1956) o en los bordes como en *Circle limit I* (1958) donde entraba en juego la geometría hiperbólica⁹ El matemático Henri Poincaré demostró que era posible representar la totalidad de una superficie infinita dentro de un gran círculo infinito.

La reducción de las figuras fue tal que hasta Escher llegó a grabar, con ayuda de una lupa, lagartos de medio milímetro de longitud.

⁹ Geometría hiperbólica: En contraposición a los principios de la geometría euclidiana, existen dos líneas que pasan por cada punto dado fuera de una línea, de tal manera que aquellas líneas son paralelas a esta. El matemático Henri Poincaré demostró que era posible representar la totalidad de una superficie infinita dentro de un gran círculo infinito. Véase Ernst, B. (2018). *El espejo mágico de Maurits Cornelis Escher* / Bruno Ernst. Taschen.p.112



Más y más pequeño I, 1956. Xilografía, 48 x 48cm. Escher



Circle limit I, 1958. Xilografía, 48 x 48 cm Escher

Para entender mejor la estética fractal y toda expresión artística que podría considerarse que tiene ese distintivo, expondremos las características principales junto con movimientos y artistas como ejemplos:

La geometría fractal tiene unas características que podemos adoptar y aplicarlas en el arte y la creación, generando así una estética propia. Según Holger van den Boom y Felicidad Romero Tejedor en su libro *Arte Fractal. Estética del Localismo* (1998) una característica fundamental del arte fractal es que es una **estética local**.

Esto quiere decir que la estructura a desarrollarse se genera a partir de un punto y elemento mínimo que va repitiéndose de forma contigua y expandiéndose por el plano. Es decir, al contrario de usar bocetos preparatorios y saber de antemano cuál iba a ser la composición y aspecto final, la estética local trabaja progresivamente sin conocer de antemano su forma final. Esta forma de trabajar coincide con la propia organización de la naturaleza y cómo se distribuye a partir de la autosemejanza y el crecimiento paulatino.

A diferencia de la geometría fractal, la geometría euclidiana trabajaría de una forma totalmente contraria, es decir, de forma global. Esta última que es la que suele utilizarse para la arquitectura y el diseño, se emplea para realizar una construcción completa que engloba desde el inicio la totalidad de los elementos que aparecerán en el plano.

Los elementos que componen el plano no son autosemejantes, sino un conjunto de formas diferentes que construyen una unidad. Podríamos comparar la geometría euclidiana con una casa con sus diferentes partes (ventana,

tejado, puerta...) y la geometría fractal con un árbol (estructura hecha a partir de un elemento que se va repitiendo y quebrando paulatinamente).

El arte fractal defiende el proceso de creación sobre el resultado final.

Al seguir una metodología que pretende asemejarse al crecimiento de la naturaleza, se intenta imitar esa mitosis durante la generación de la obra.

El factor tiempo juega un papel importante en la elaboración de la obra, pues su resultado dependerá del tiempo empleado en su ejecución, junto con las decisiones tomadas y la presencia del azar.

Otra característica de esta estética es que todos los elementos de la obra tienen la misma importancia en la composición. Podemos ver un cuadro de Matisse (1869- 1954) *Desnudo decorativo delante de un fondo ornamental* (1925) donde su interés por los arabescos hace que los resalte y tengan el mismo nivel de protagonismo que el resto de los elementos de la composición.

“A Matisse no le bastaba con describir la naturaleza, sino que tenía que “crearla” cada vez de nuevo. Matisse haría lo que para Picasso era situar un objeto al lado del otro.”

(Romero / van den Boom, 1998, p.73)

Al final, todas estas particularidades las podemos relacionar con el crecimiento y la organización de la naturaleza, que como hemos visto, muchas de sus estructuras se generan progresivamente a partir de la repetición y homotecia de una misma forma, desconociendo su forma y tamaño final pues muchas veces depende del tiempo que se emplee en formarse (por ejemplo, los árboles y sus ramificaciones).

El modernismo fue un movimiento artístico del siglo XIX que destacó por su admiración hacia la naturaleza. En el campo de la arquitectura, podemos comprobar que se buscaba en la naturaleza soluciones eficientes y también estéticamente interesantes, como por ejemplo los modelos de “cadenas colgantes inversas” que empleó Gaudí para la creación de edificios como la Sagrada Familia.

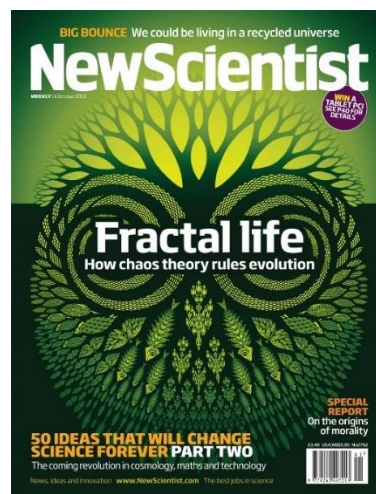
La famosa basílica de Barcelona tiene una estructura que se puede llegar a entender a través de la geometría fractal. En el artículo *Análisis de comparación fractal de la Sagrada Familia con las Catedrales Góticas. Informes de la Construcción* (2015), sus autores exponen la relación entre la catedral de Gaudí y las catedrales góticas, haciendo hincapié en las mejoras estructurales que realizó el arquitecto y que parten de parámetros fractales.



Interior Sagrada Familia, Barcelona.

Algunas de las mejoras del sistema estructural de las catedrales góticas fueron: el diseño de columnas inclinadas y ramificadas en forma de árbol, el empleo de bóvedas hiperboloides que permitían abrir huecos y la creación de una estructura que permitió prescindir de contrafuertes ya que es capaz de soportar los esfuerzos mecánicos de tracción.

Actualmente podemos encontrar artistas que se asemejan al trabajo de Escher, como Yehrin Tong (Londres). La artista basa su trabajo en la abstracción matemática a través de patrones e ilusiones ópticas. Podemos encontrar diseños suyos sobre distintos soportes ya sean libros hasta palas de pin pong. Gran parte de su trabajo se basa en la geometría fractal y en su estética. En 2010, realizó un diseño para la portada de la revista *NewScientist* cuyo tema principal del número era *Fractal life: How chaos theory rules evolution*.



Portada de New Scientist, 2010. Yehrin Tong

La importancia de las computadoras: la informática gráfica

Aunque ya hemos comentado en este capítulo que no es imprescindible generar fractales matemáticamente exactos para producir una obra en la que su creación y estética estén vinculadas con ellas y con la organización de los elementos naturales, no podemos obviar que hoy en día, en nuestra era tecnológica, disponemos de muchas herramientas tecnológicas que nos permiten crear piezas a partir de estructuras fractales exactas, generadas por softwares informáticos realizando cálculos constantes. Sin la traducción de la ecuación de Julia a un programa computacional realizado por Mandelbrot, hubiera sido imposible generar el Conjunto de Julia de forma exacta.

Como hemos mencionado anteriormente, muchos artistas trabajan con este tipo de programas computacionales para generar piezas audiovisuales, fondos de videojuegos, películas, instalaciones inmersivas, etc.

Julius Horsthuis (Amsterdam, 1980) es un artista digital que emplea el programa Mandelbulb 3D para realizar instalaciones inmersivas, vídeos, imágenes entre otros. Realiza paisajes fantásticos e idílicos, mezclando la animación abstracta y cinematográfica. A través de su página web enseña a utilizar el programa, permitiendo ver su proceso de creación y ayudar a futuros interesados a manejar el programa.¹⁰



This Gold Watch. Ilustración Digital. Julius Horsthuis

También podemos encontrarle un uso interesante en el campo del diseño de moda.

Jhane Barnes (1954) es una diseñadora de moda para hombres que lanzó su negocio en 1976. Por aquel entonces, no había computadoras que le permitieran diseñar patrones, así que empleaba papel cuadriculado tejía sobre un pequeño telar. Barnes se interesó por las formas fractales y quiso aplicarlas en sus diseños, por lo que contactó con un físico y un matemático que le crearon un programa en el que podía generar diseños con formas fractales a partir de parámetros fractales.

Otro ejemplo lo encontramos en los diseños de Iris van Herpen, piezas inspiradas en la naturaleza, el caos y el movimiento.

Sus diseños pretenden emular fuerzas y ondas invisibles a nuestros ojos pero que forman parte de nuestro entorno y adaptarlos de forma armónica y fluida al cuerpo humano. Iris se inspira en los fractales y suele emplear la impresión 3D

¹⁰ Página web oficial de Julius Horsthuis: Horsthuis, J. (11 de junio de 2023). Julius Horsthuis. Disponible en: <http://www.julius-horsthuis.com>

para materializar sus creaciones, por lo que es evidente que emplea programas computacionales para generar y modelar formas fractales.



Vestido de la colección "Seijaku", otoño-invierno 2016-2017. Iris van Herpen

A parte del mundo del arte y el diseño, los fractales se estudian en diversas disciplinas científicas, como la medicina, la biología o geografía, por lo que muchas de ellas crean programas específicos que les permite recrear formas fractales según sus intereses. Un ejemplo lo encontramos en la geociencia con el programa **FROG V2**, un programa desarrollado por el investigador

Dr. Jean-François Parrot (1974) en el laboratorio de Análisis Geoespaciales LAGE del Instituto de Geografía de la Universidad Autónoma de México.

La función de este programa es que “calcula la dimensión fractal de los objetos utilizando diversos tratamientos, a partir de imágenes con formatos raw o bmp.”¹¹ Finalmente, el programa calcula los parámetros a partir de las imágenes y realiza un informe con todos los datos obtenidos.

Como hemos visto, podemos aplicar la geometría fractal en distintos campos empleando programas informáticos específicos.

Desde la primera representación gráfica generada por un ordenador a finales de los años setenta por Manelbrot, el uso de la geometría fractal se emplea desde el diseño de una camiseta hasta predecir el crecimiento de un tumor cancerígeno.

En este trabajo, nos hemos centrado en aquellos programas informáticos que nos permiten generar imágenes y modelos tridimensionales para aplicarlos a la práctica artística.

A continuación, mencionaremos algunos de los programas que podemos encontrar que nos permiten generar estructuras fractales infinitas y con un valor estético muy interesante.

¹¹ Parrot, Jean-François. (2013). Manual de utilización del Software FROG V2 (Fractal Research On Geosciences, Versión 2.0). p.3

4 INVESTIGACIÓN EN EL PROCESO CREATIVO.

Durante la investigación teórica del trabajo, se ha ido desarrollando paralelamente una propuesta práctica en la que se han ido arrojando los conocimientos adquiridos.

Se ha distribuido en dos planos: por una parte, trabajamos digitalmente con programas computacionales que culminan con dos series y dos creaciones audiovisuales y por otra aplicamos la estética fractal empleando materiales tradicionales para realizar la serie ***Rama-poro-espiral***.

Los resultados finales pretenden mostrar las posibilidades estéticas que pueden llegar a desarrollarse aplicando la geometría fractal y la escala, teniendo la naturaleza como modelo inicial.

4.1 PRÁCTICA DIGITAL.

Como hemos comentado durante el desarrollo del contenido, la generación de fractales matemáticamente exactos sólo es posible a través de las computadoras, que traducen los resultados de ecuaciones en puntos gráficos. Es por ello por lo que ha sido indispensable realizar una propuesta práctica artística donde participaran softwares que nos permitieran generar estructuras fractales.

4.1.1. Proceso. Programas fractales.

Se ha realizado una búsqueda de algunos de los programas que podemos encontrar fácilmente que nos permiten crear imágenes y elementos tridimensionales estéticamente interesantes. Los procesos llevados a cabo para la creación de las piezas finales y las pruebas se encuentran recogidas y se propone como material didáctico.

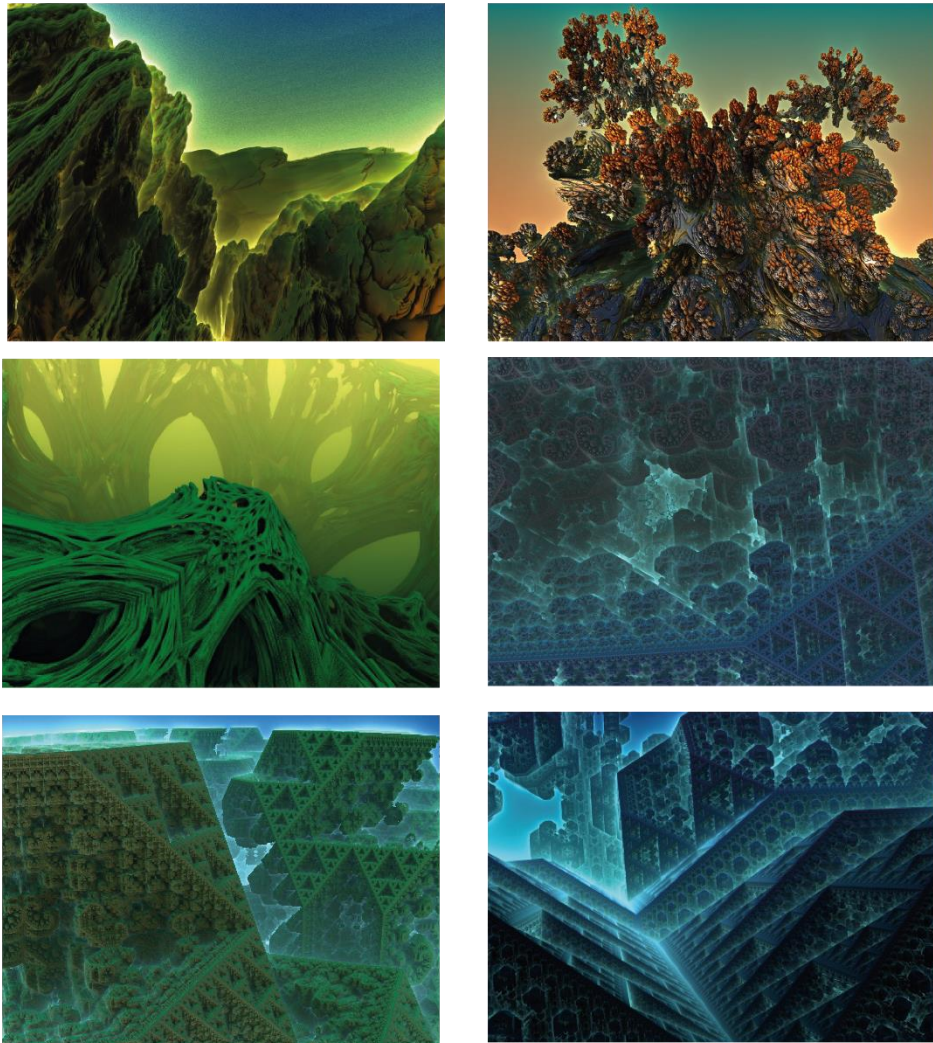
Dado el tiempo establecido para realizar este proyecto, se trabajaron con una selección de programas, pero podemos encontrar muchos más por la red.¹²

Mandelbulb 3D

Requiere descarga.
Programa gratuito.

Mandelbulb 3D es un software bastante completo que te permite realizar diversas combinaciones y fórmulas que te permiten crear formas fractales infinitas y con una definición exquisita. Además, puedes cambiarle la iluminación y los colores, desplazarte por el interior del fractal de forma infinita y generar animaciones a partir de fotogramas.

¹² Para ver más programas paramétricos fractales: Fractal foundation.(s.f) Fractal software. <https://fractalfoundation.org/resources/fractal-software/>

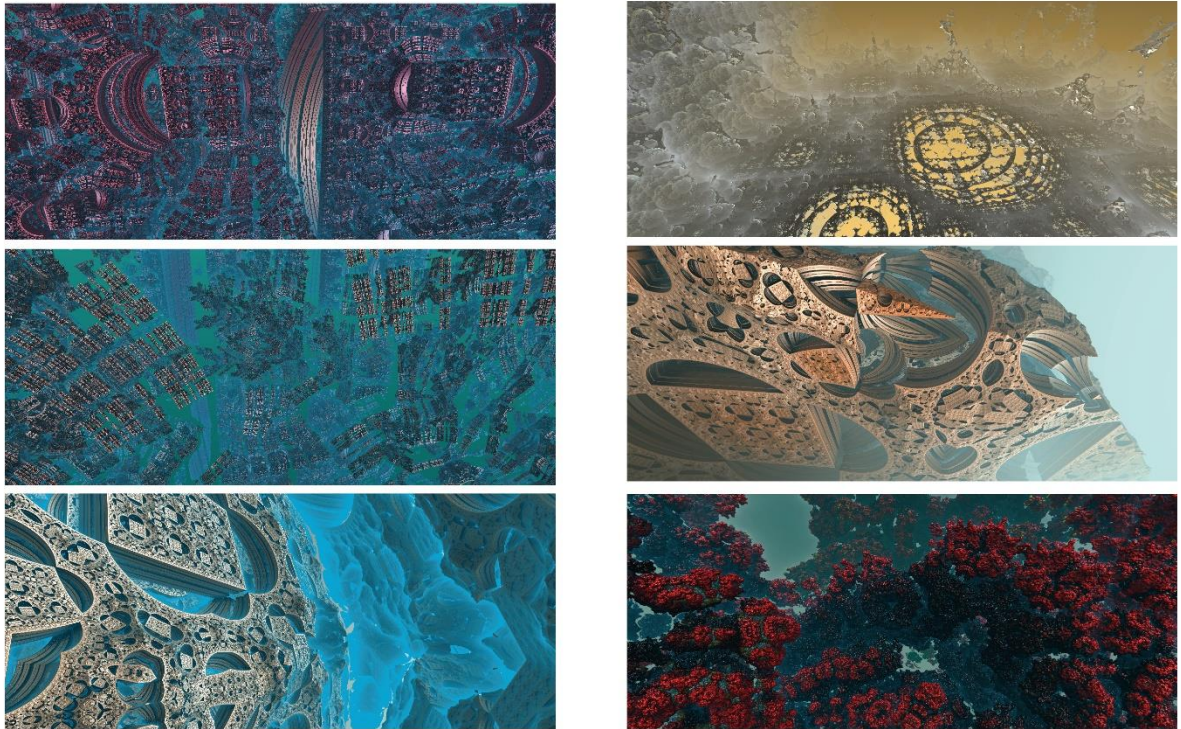


Imágenes generadas a partir de Mandelbulb 3D, 2023

Fractal Lab

No requiere descarga, acceso online.
Programa gratuito.

Fractal Lab es un programa bastante similar a Mandelbulb 3D aunque más limitado respecto al abanico de posibilidades y fórmulas. Es muy intuitivo y permite renderizar imágenes de gran calidad y también puedes partir de formas fractales ya configuradas. Una vez se han establecido los parámetros, se puede navegar dentro del objeto fractal, rotarlo y cambiar de dirección.



Imágenes generadas a través de Fractal Lab, 2023. Imagen digital

Ultrafractal

Requiere descarga.

Prueba de 30 días.

Ultra fractal es un programa con gráficos más sencillos que realiza fractales bidimensionales que permite aumentar y reducir el tamaño, cambiar los colores y los parámetros. Permite realizar animaciones. Sus resultados no parecieron encajar con la estética que buscaba aunque ayudaron a la comprensión de cómo funcionan de una forma más básica la estructuración de los fractales en las computadoras.

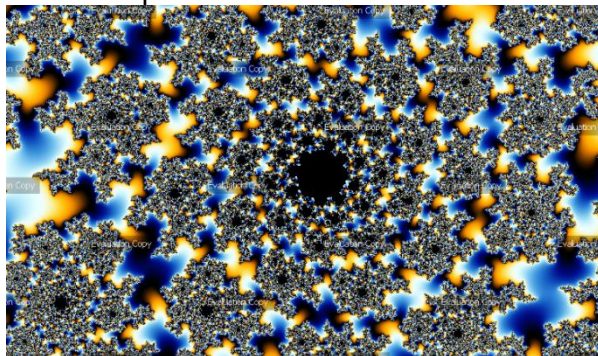


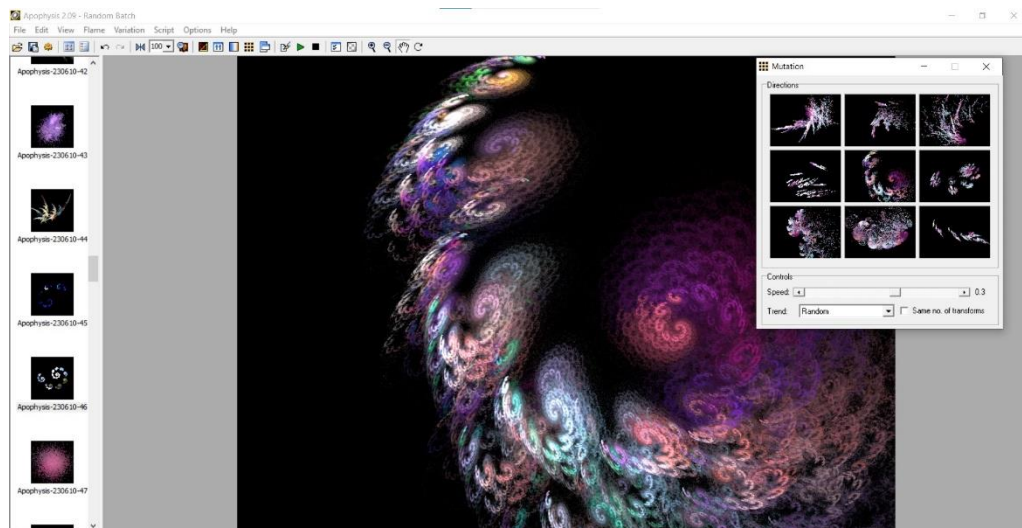
Imagen generada a través de Ultrafractal, 2023. Imagen digital

Apophysis

Requiere descarga.

Programa gratuito.

Apophysis te ofrece objetos fractales predeterminados y te permite modificar sus parámetros, colores y realizar diversas mutaciones y modificar el aspecto de los fractales. Se permite renderizar las imágenes con buena calidad.



Captura de pantalla del programa Apophysis

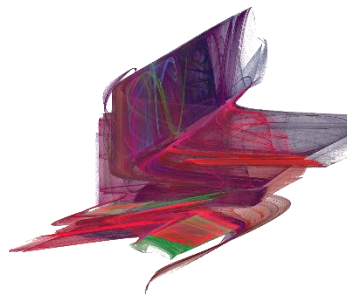
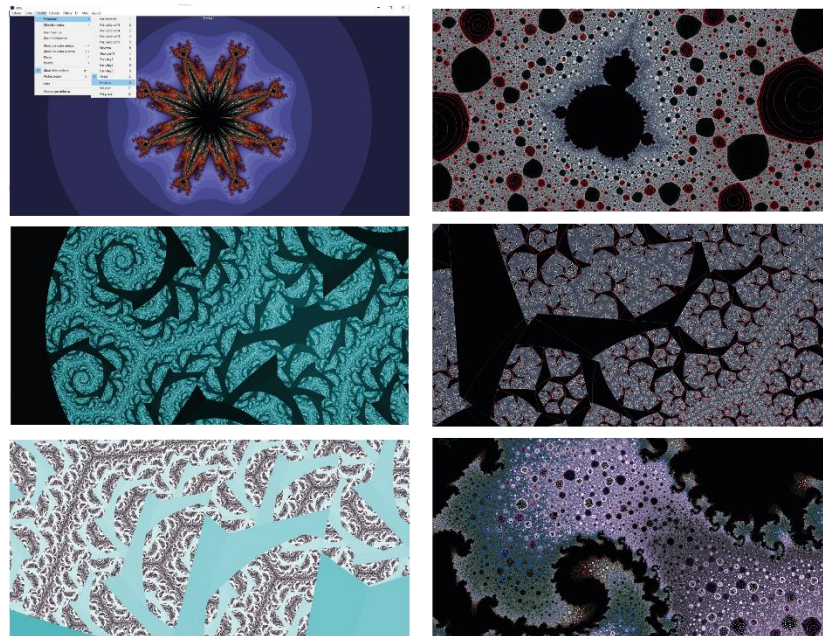


Imagen predeterminada de Apophysis

Xaos



Imágenes generadas a través de Xaos, 2023.

Es un programa gratuito que requiere descarga. Bastante sencillo de utilizar, el programa permite aumentar indefinidamente una forma fractal bidimensional, de forma que se va recalculando constantemente

Blender

Descarga gratuita.

Aunque Blender no sea un programa específico para generar fractales, se trata de un programa de modelado 3D bastante completo que permite, a través del uso de distintas herramientas, modelar y generar estructuras fractales, ya sean sobre un plano o tridimensionalmente.

-Fractales planos

A partir de un plano y, mediante el uso de nodos, se puede generar una **alfombra de Sierpinski** es decir, un cuadrado que se va quebrando hasta el infinito. Es posible modificar las coordenadas X o Y para generar, como vemos aquí, otras formas fractales como un triángulo de Sierpinski.



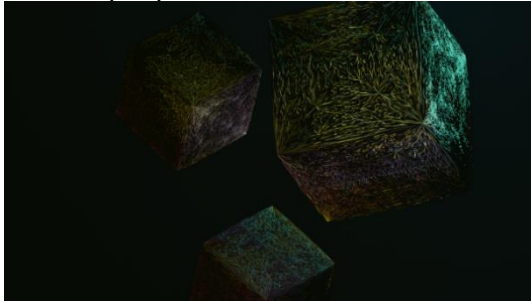
Modelo fractal realizado en Blender, 2023

-Fractales en cubo

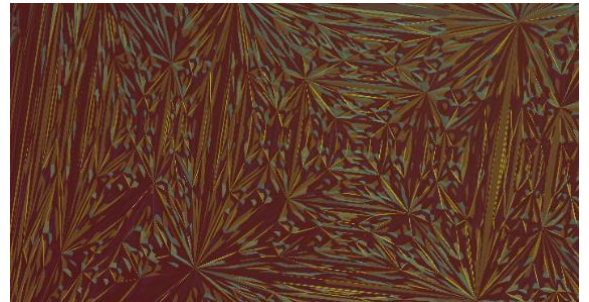
Esta forma de realizar fractales se centra en las caras de los cubos.

A través de un sistema de nodos, se va diseñando y quebrando las superficies de forma que puedes obtener resultados con formas fractales sencillas menos quebradas o muy rugosas.

La aplicación de distintos focos de luces y darle al cubo la textura y material de cristal es determinante a la hora de definir la estética final, que puede dar unos resultados muy pictóricos.



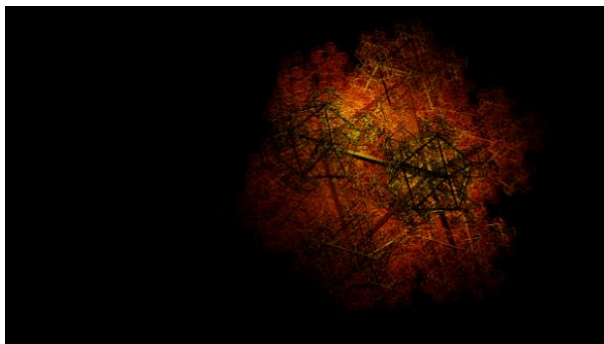
Prueba render en Blender, 2023



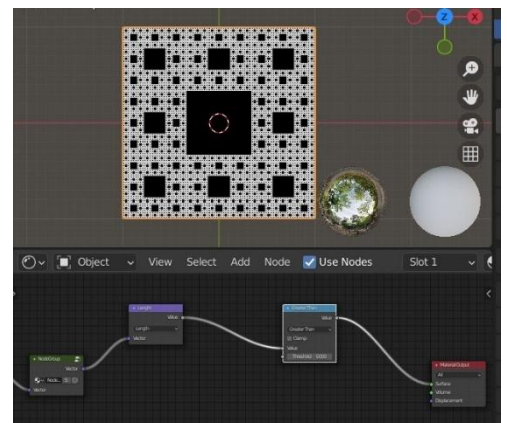
Prueba render en Blender, 2023

- Formas fractales 3D

A partir de emplear nodos e iterar los parámetros correspondientes se pudo generar una pieza fractal tridimensional. Contra más iteraciones, más se fragmenta. Se añadieron focos de distintos colores y con diversas intensidades. Posteriormente, se colocaron cámaras que nos permitieran sacar imágenes interesantes donde pudiéramos ver distintas vistas del modelo.



Forma fractal 3D modelado en Blender, 2023

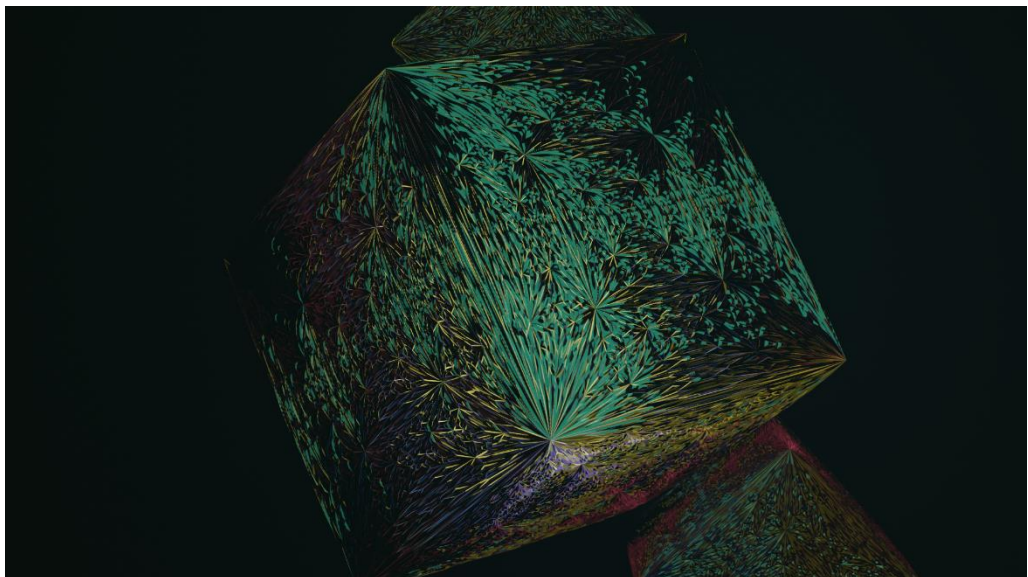
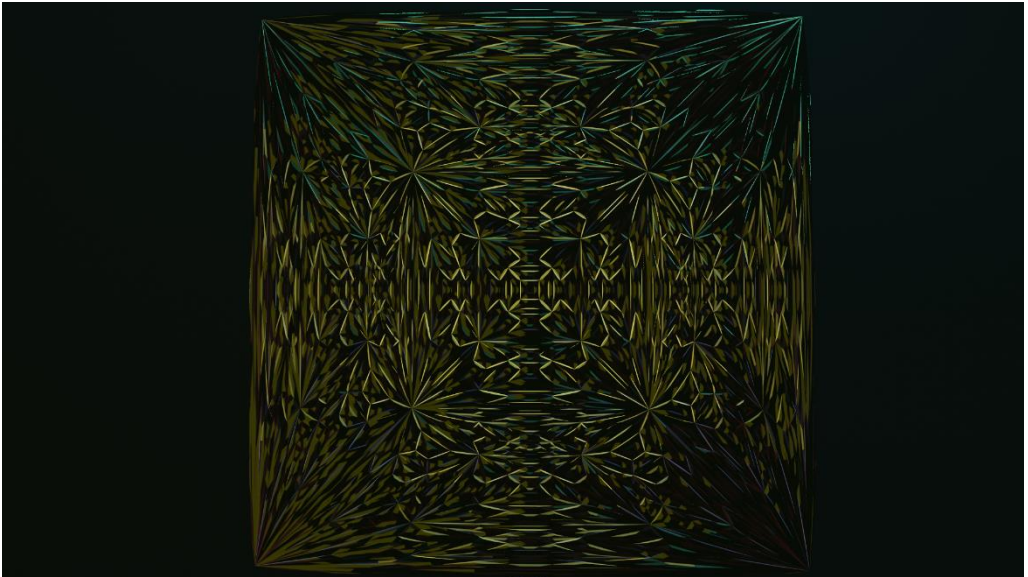
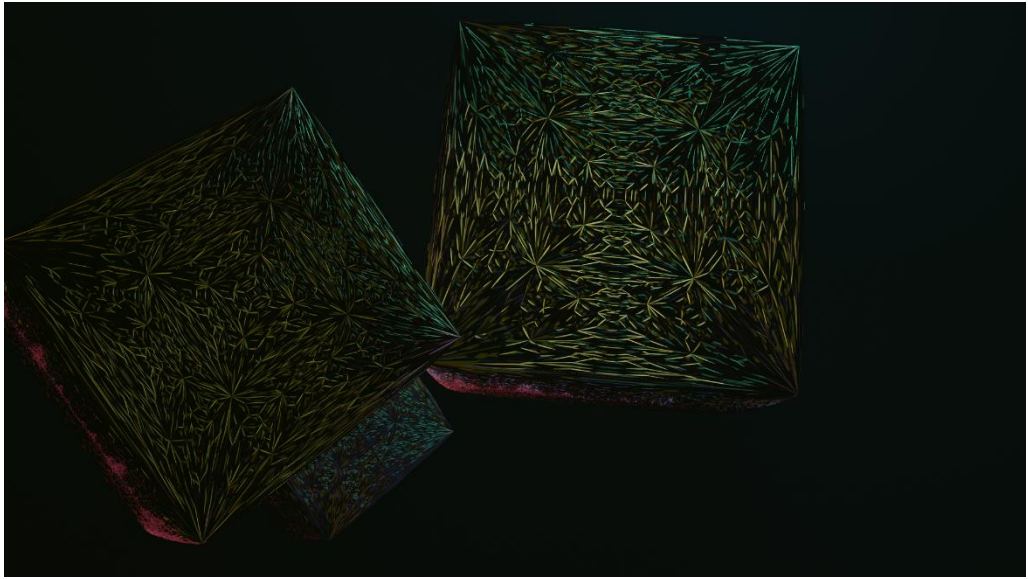


Proceso en Blender, 2023

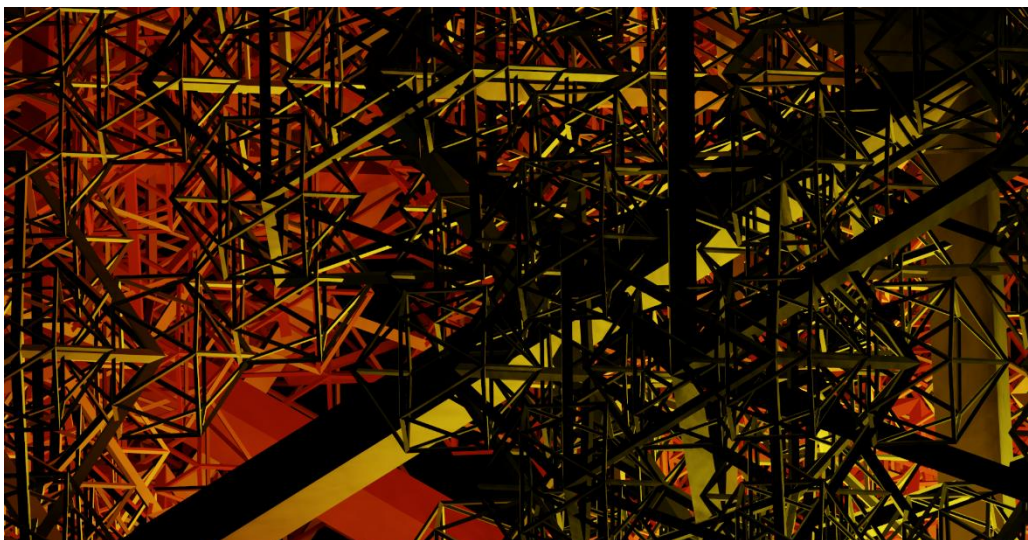
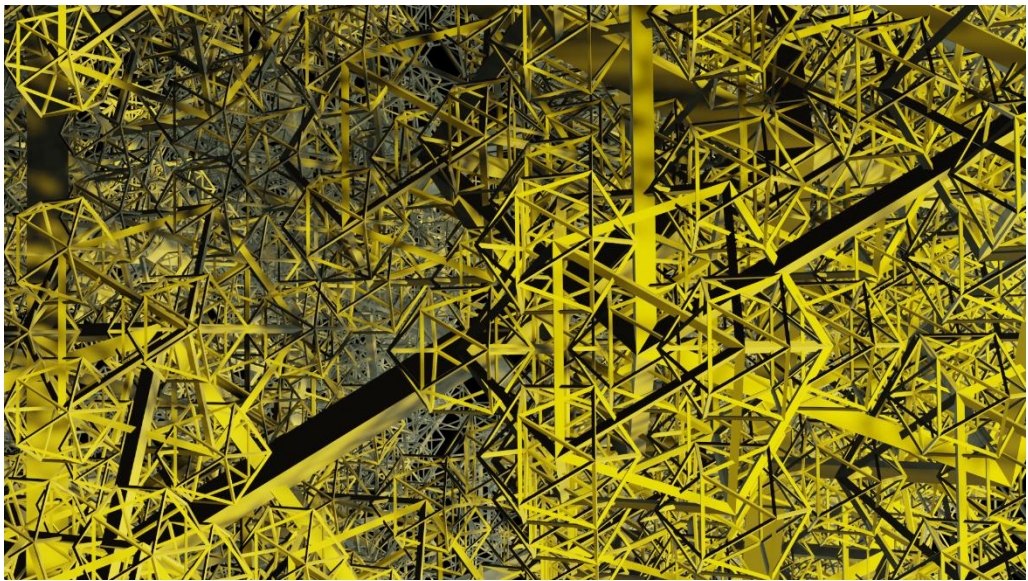
4.1.2 Resultados gráficos

Tras trabajar con los distintos programas se realizó una serie de imágenes finales seleccionadas por su interés estético.

.



Serie "Reflejo", 2023. Ilustración digital.



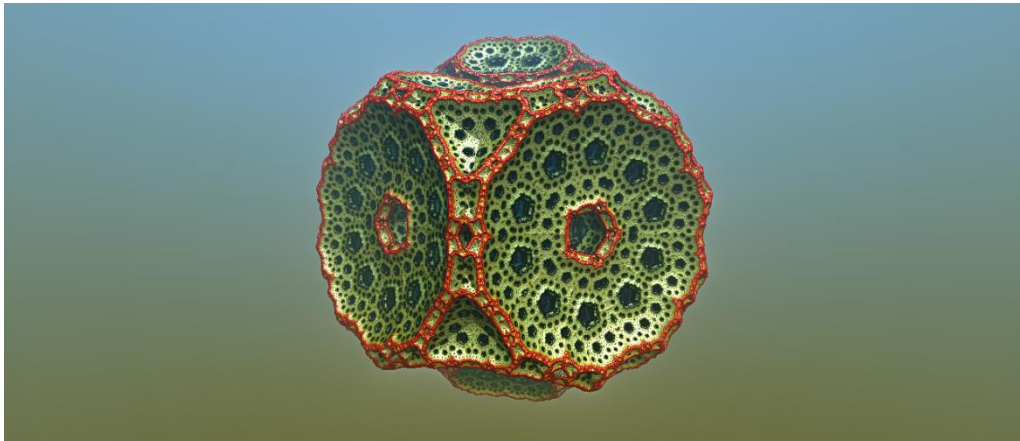
Serie "Reflejo II", 2023. Imagen digital

Posteriormente, realizamos un paso más.

Al comparar las posibilidades creativas que se podía desarrollar en cada uno de ellos se llevaron a cabo 2 propuestas audiovisuales: “Malas decisiones” e “Interior”.

“Malas decisiones”

Malas decisiones es un vídeo realizado a partir de fotogramas generados en Fractal Lab cambiando los parámetros progresivamente, con la finalidad de visualizar cómo una pieza se va quebrando y dividiendo progresivamente y genera un proceso que puede recordar a una manzana pudriéndose o que es comida por insectos.

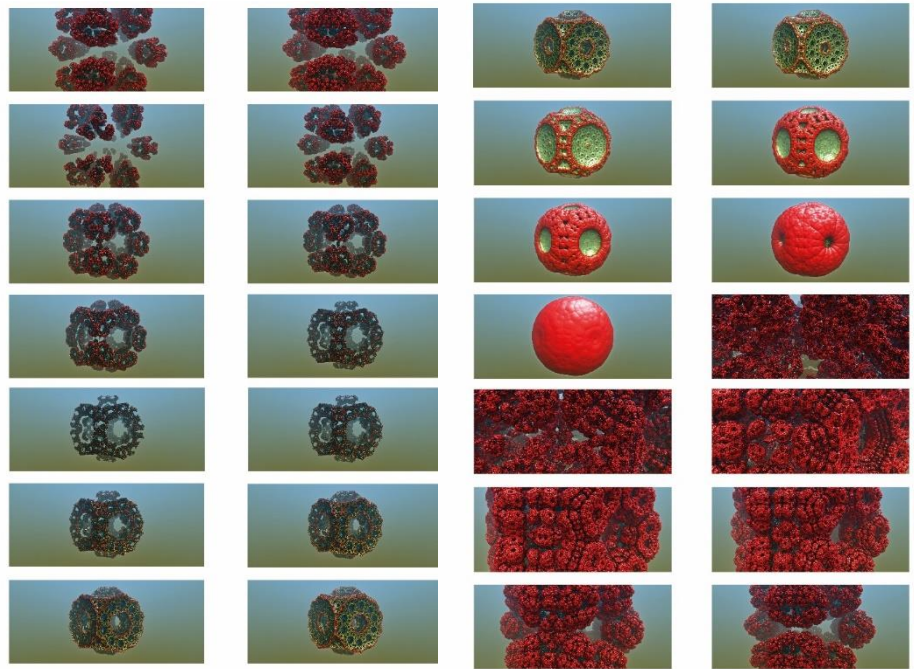


Fotograma "Malas decisiones", 2023. Vídeo. Duración: 00m06s(dar click para ver)

<https://drive.google.com/file/d/1myffu4yLMx9-vNGunz2626U3p9ds7D9k/view?usp=sharing>

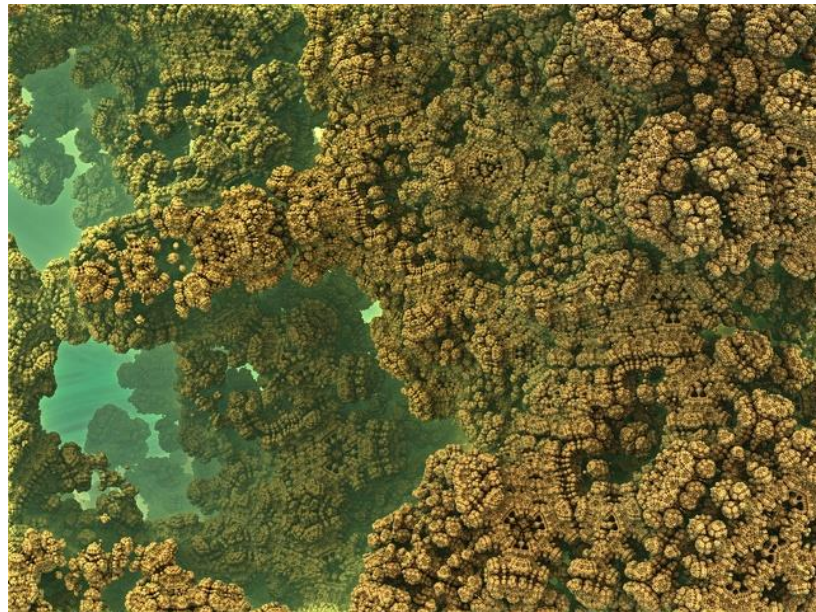
A parte de la pieza audiovisual, se realizó una propuesta para trasladar la transformación fractal a un soporte físico, imprimieron los fotogramas para realizar un pequeño folioscopio.

Fotogramas de "Malas decisiones", 2023



“Interior”

Interior es un vídeo donde nos adentramos en el interior de una hoja, imaginándonos qué veríamos más allá de nuestro límite perceptivo aplicando las características de la homotecia interna y la autosimilitud.



Fotograma "Interior", 2023. Vídeo. Duración: 1m16s (darle click para ver)

https://drive.google.com/file/d/1_NzByQCKTW-QqQMYL-0-0eCzClhr8Z07/view?usp=sharing

4.2. PRÁCTICA ANALÓGICA.

Hemos visto cómo muchos artistas plásticos han aplicado y aplican la estética fractal y sus características estéticas a su obra sin importar que no haya rigor matemático y sea geométricamente perfecto.

Sin embargo, aplican características como la repetición, la generación de una estructura de forma paulatina a partir de un solo elemento, la importancia del proceso de creación y la plasmación del tiempo empleado, etc.

“Rama-Poro-Espiral” es la propuesta artística que se plantea en este trabajo aplicando e intentando aplicar los conocimientos adquiridos y el proceso de trabajo relacionado con la generación de fractales.

Consta de una serie de tres piezas finales realizadas con gouache sobre papel de arroz donde se pretende plasmar tres estructuras que aparecen de forma muy frecuente en la naturaleza y se rigen por la geometría fractal.

Por eso, se han realizado a partir de fotografías adquiridas durante el trabajo de campo a través de internet, Google Earth y fotografías realizadas personalmente del entorno. Al material adquirido se les ha dado un alto contraste a las imágenes para simplificar y destacar su estructura, de forma que pareciera casi imposible reconocer la escala real. Se han impreso y se han transferido progresivamente sobre el papel, unificando y componiendo paulatinamente a través de la repetición, generando formas a partir de elementos de escalas completamente dispares en la realidad, mostrando cómo las formas fractales van más allá de la escala y son autosimilares.

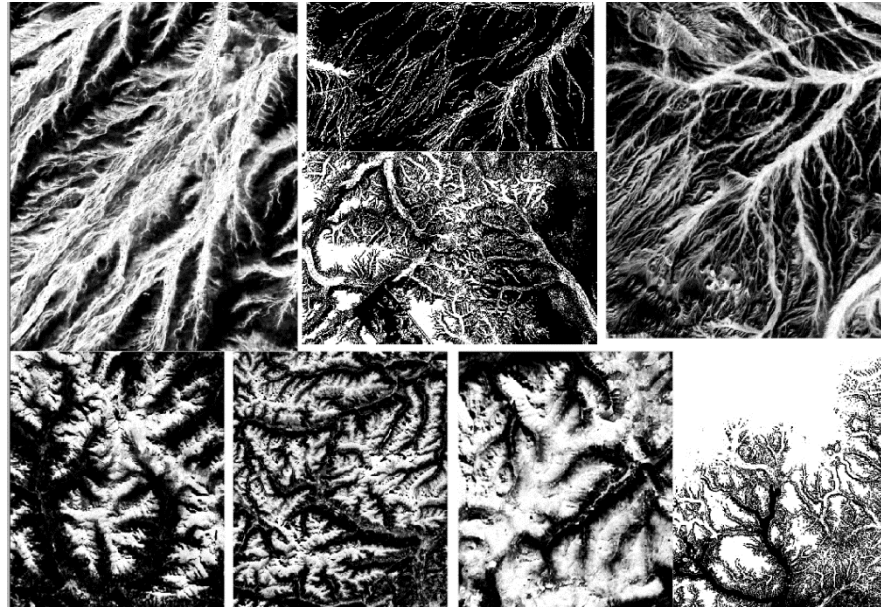
4.2.1. Proceso de RAMA-PORO-ESPIRAL.

RAMA

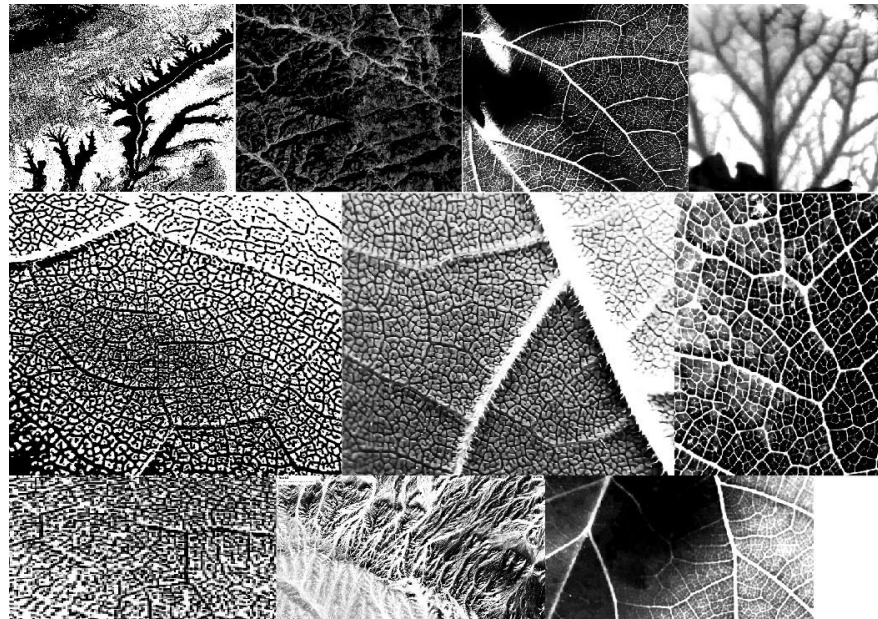
En *Rama* se han buscado y seleccionado imágenes de ramificaciones, no sólo de árboles, sino de montañas, glaciares, nervios y celdas de hojas, e incluso se ha añadido dibujos de neuronas de Ramón y Cajal¹³. Las imágenes donde se visualizan accidentes geográficos se han extraído de la búsqueda a través del programa Google Earth, donde hemos podido encontrar dunas de arena que se distribuían de una forma muy similar a los ríos que pasan por los glaciares del Ártico.

El conjunto de imágenes se ha impreso en distintos tamaños y, como podemos ver a continuación, sus estructuras son muy similares y cuesta reconocer qué es cada cosa.

¹³ Véase página 45 de este mismo documento.

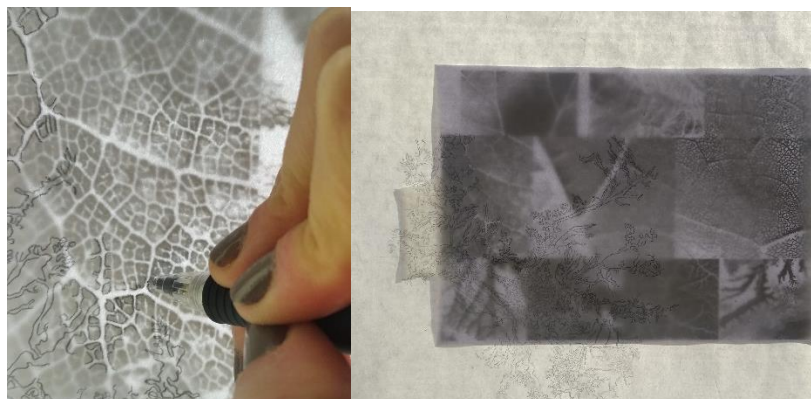


Imágenes extraídas de Google Earth editadas, 2023



Imágenes extraídas de distintas fuentes, 2023

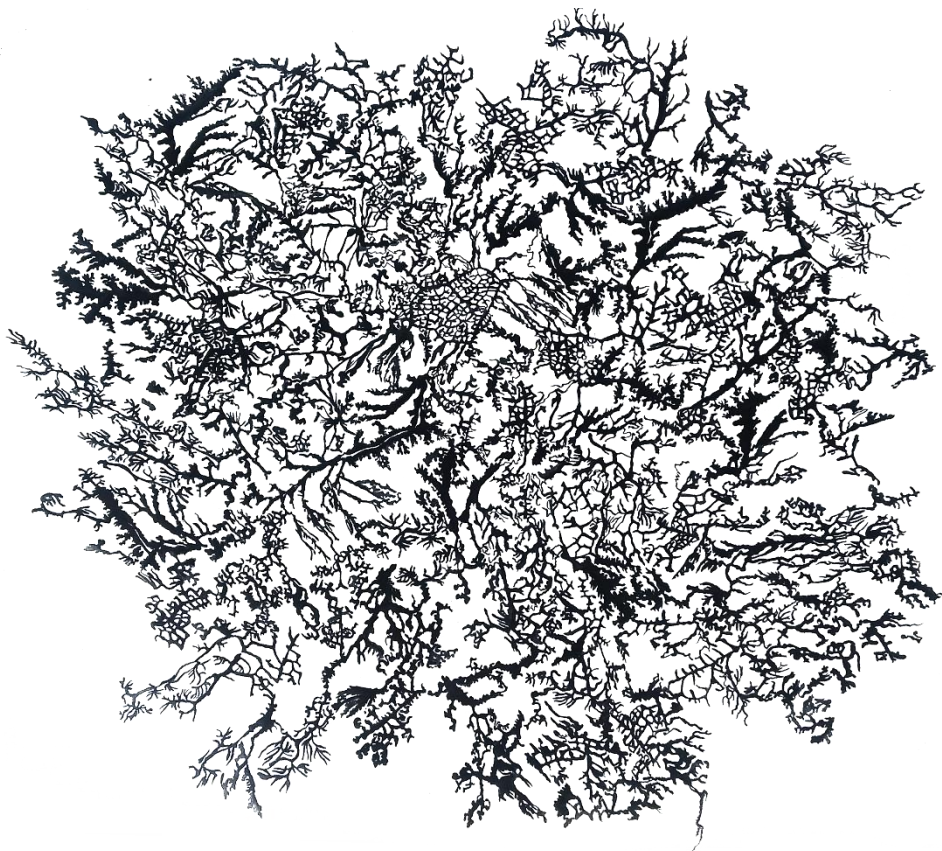
A continuación, se superpuso el papel de arroz sobre las impresiones, aunque sin sujeción fija, de forma que se podía cambiar de posición e imagen según nos iba interesando.



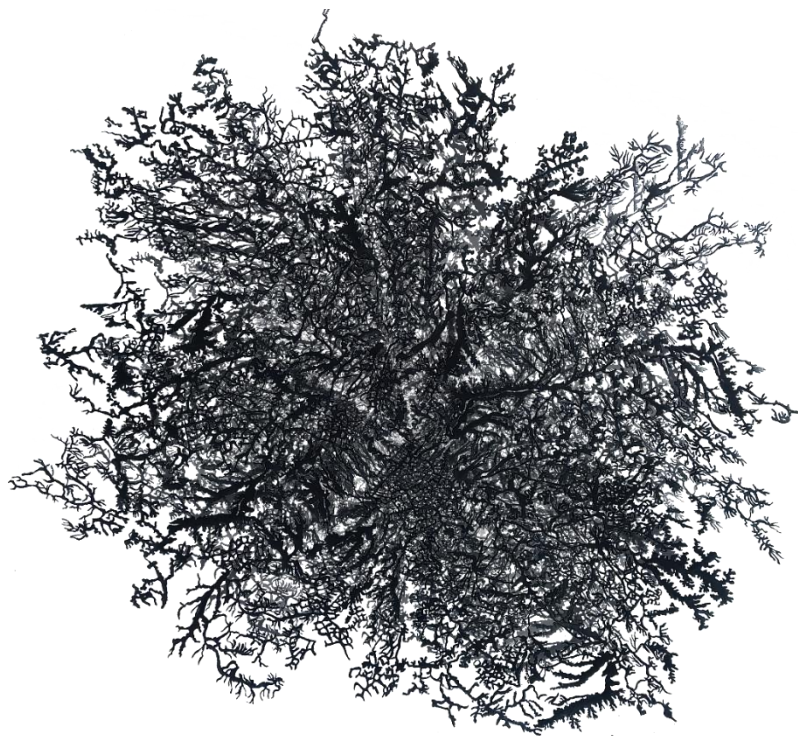
Proceso de transferencia de las formas, 2023

Una vez transferidas las formas, se completó la pieza con gouache negro. Aunque esta serie se pensó inicialmente para realizarse en su totalidad con técnicas tradicionales, decidí dar un paso más para explorar más posibilidades a partir de los dibujos realizados con témpera.

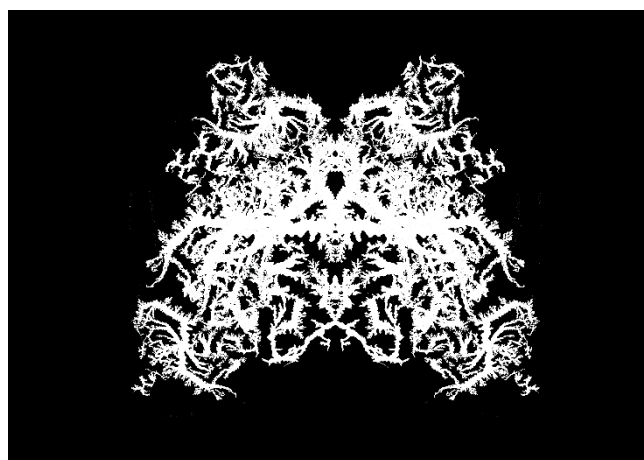
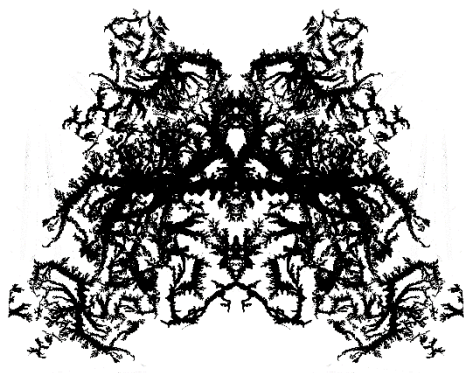
Una vez se obtuvo el resultado final sobre el papel, se digitalizó el dibujo para repetir su estructura y jugar con la superposición y las dimensiones de cada capa, dándonos unos resultados que se muestran en el apartado **4.2.2 Resultados gráficos** de este trabajo.



Rama I, 2023. Gouache sobre papel japonés, 40 x 48cm



Proceso de composición en Photoshop, 2023

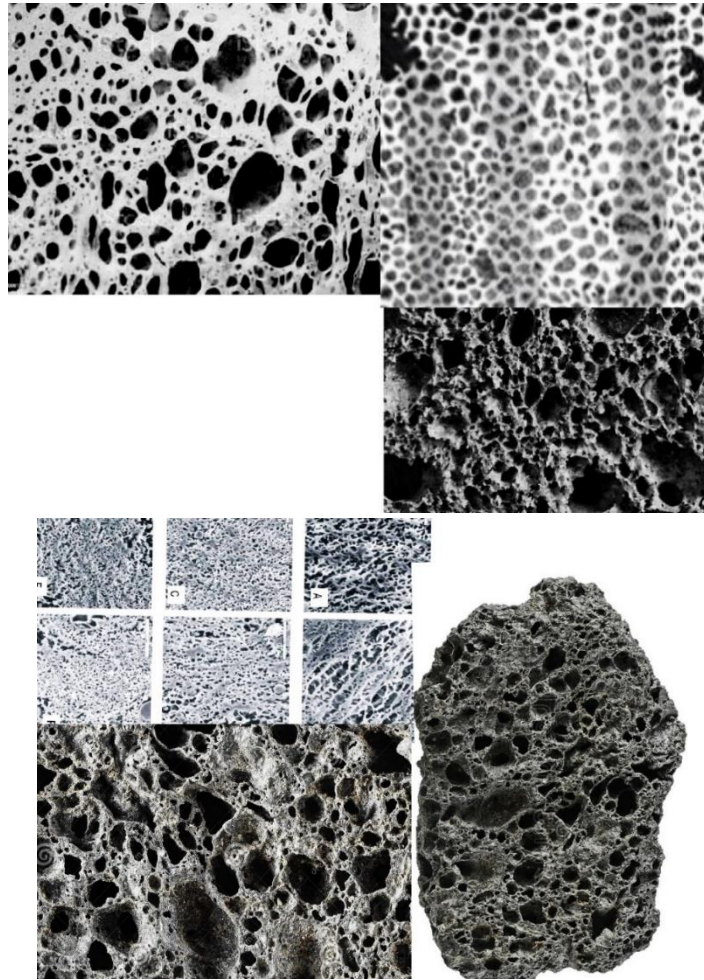


Pruebas previas de composición en Photoshop, 2023

PORO

La porosidad es una característica de muchos elementos de la naturaleza que, si los comparamos, podemos llegar a ver que son muy similares y parece que siguen una fragmentación y distribución parecida. Se buscaron imágenes de huesos a través de microscopio, de piedras volcánicas, de miga de pan, de pequeños lagos, etc.

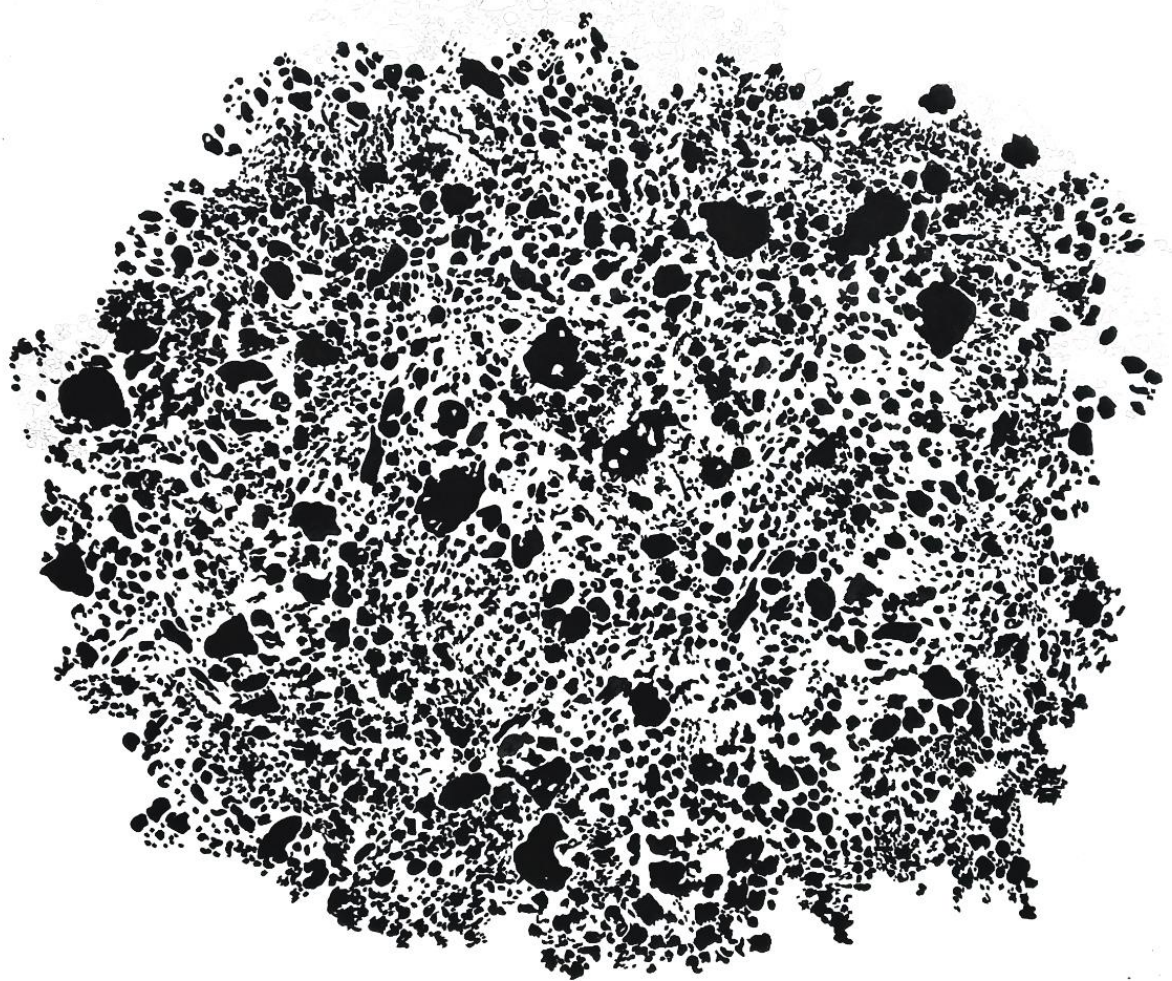
A continuación, se llevó a cabo el mismo procedimiento que con *Rama*.



Imágenes extraídas de diferentes fuentes editadas, 2023

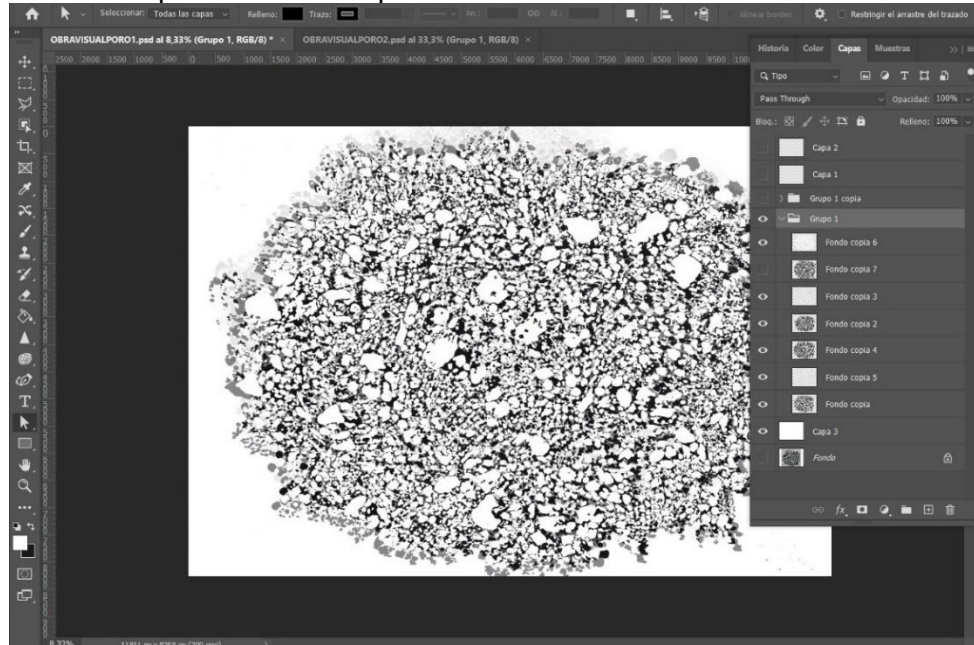


Proceso "Poro", 2023



Poro I, 2023. Gouache sobre papel japonés, 40 x 48 cm

Como podemos ver en la imagen a continuación, el procedimiento de superposición y repetición se llevó a cabo variando la escala y opacidad de diversas capas en Photoshop.



Captura proceso de composición en Photoshop, 2023

ESPIRAL.

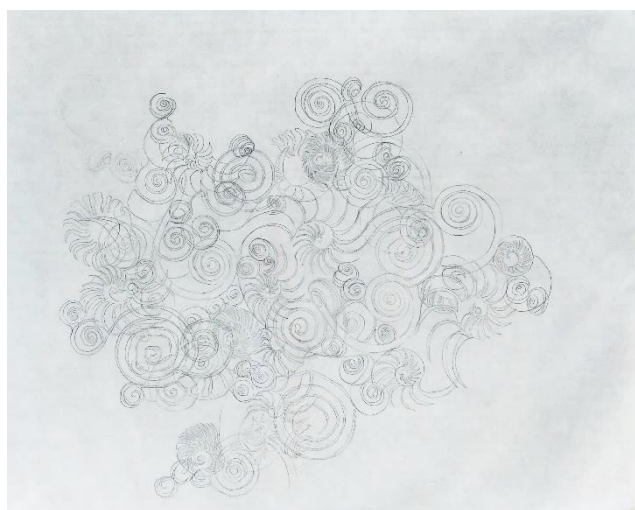
Finalmente, la tercera pieza de la serie se basa en las formas espirales que podemos encontrar en la naturaleza y en obras como la de *Diluvio* de Da Vinci, mencionada en este trabajo. En este caso, superpuse distintas espirales y con el gouache jugué con los espacios que había entre ellos.



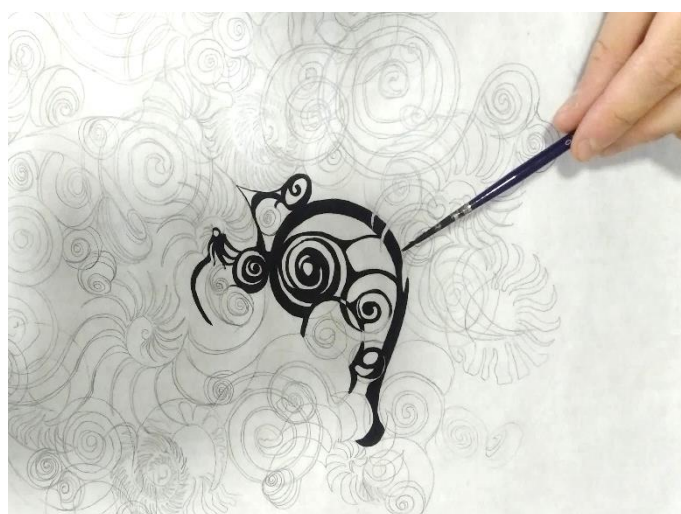
Imágenes editadas extraídas de diferentes fuentes, 2023.



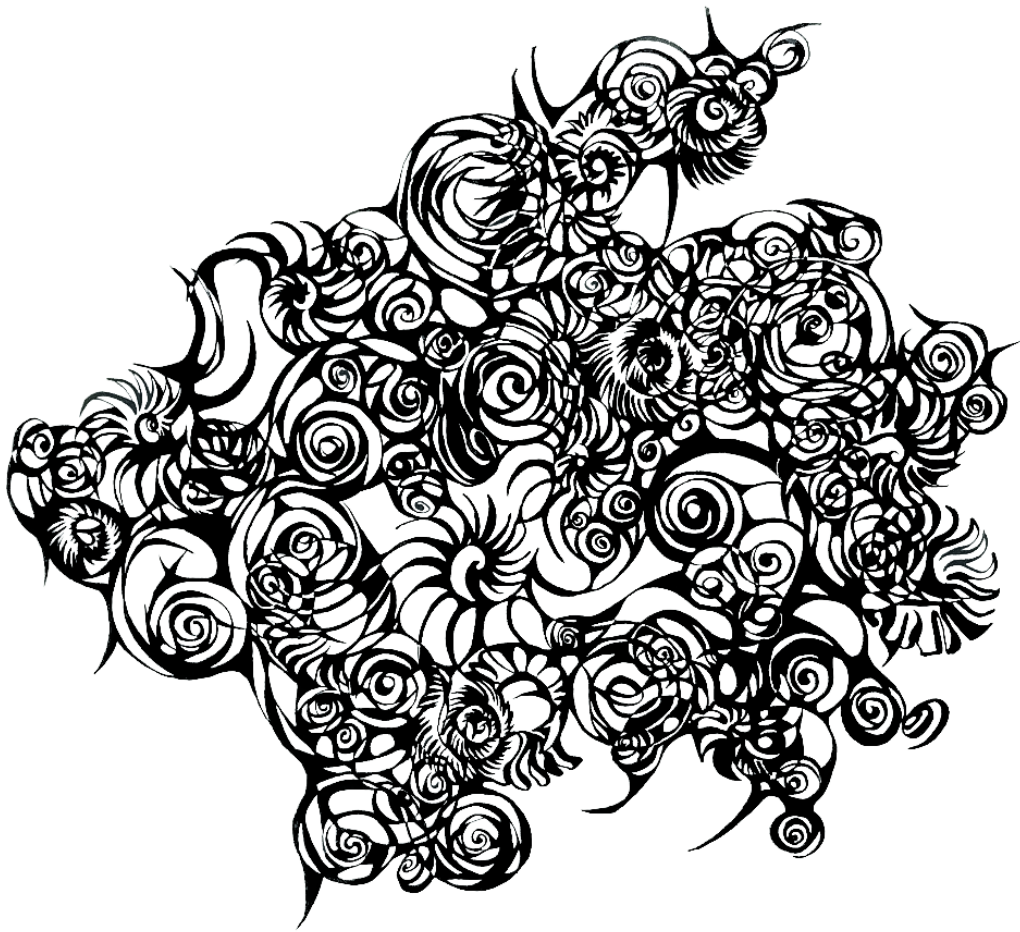
Proceso de transferencia de espirales, 2023



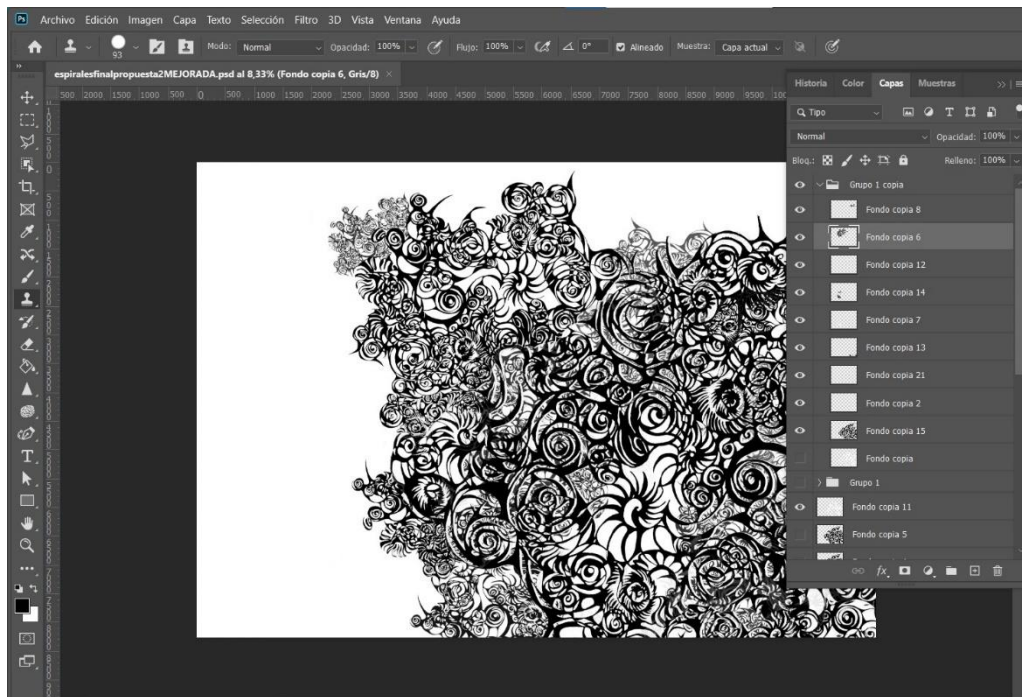
Proceso espiral, parte analógica, 2023



Proceso espiral, gouache, 2023



Espirale I, 2023. Gouache sobre papel japonés, 40 x 48 cm



Captura proceso de composición en Photoshop, 2023

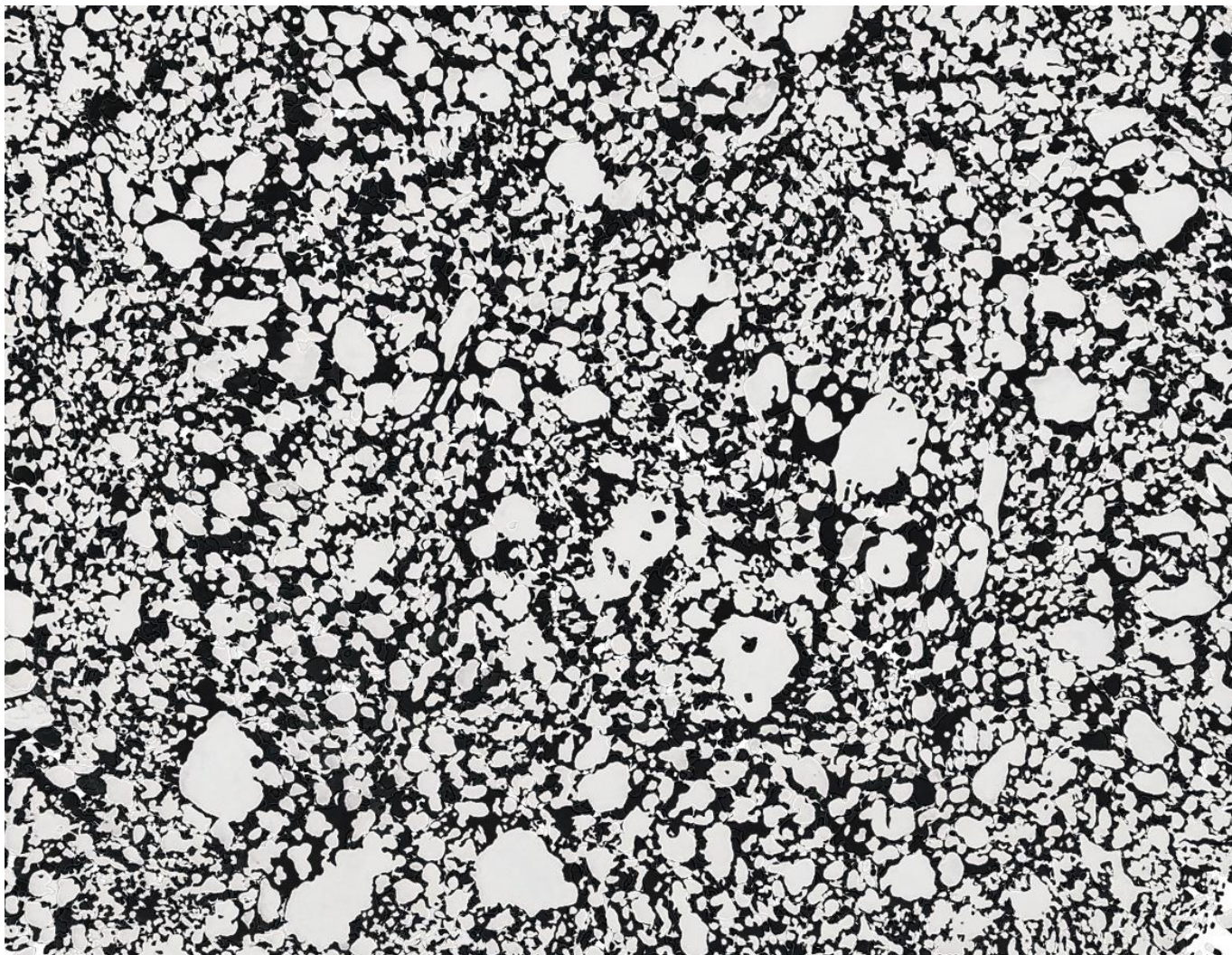
4.2.2.Resultados gráficos.

RAMA



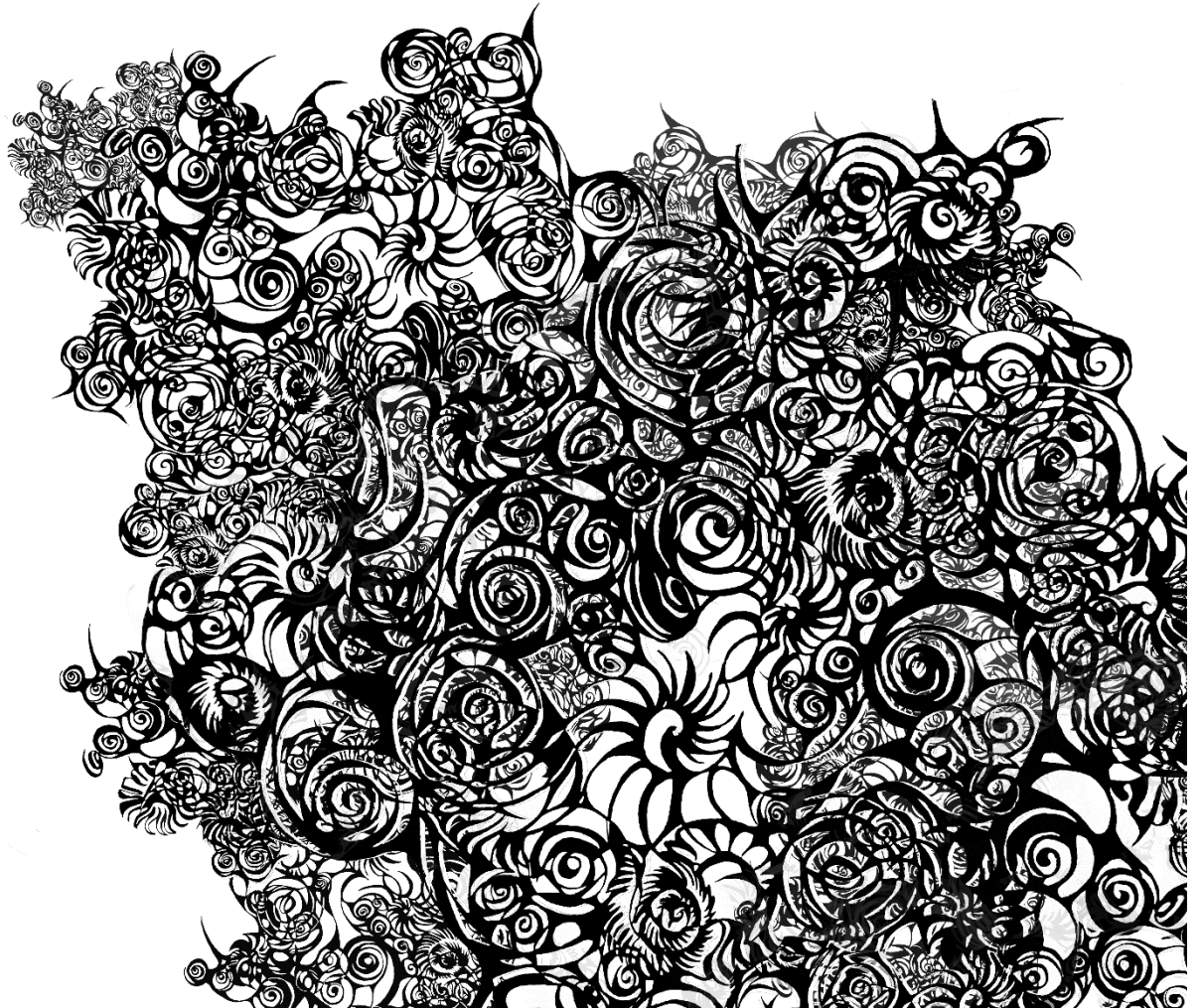
Rama II, 2023. Imagen digital. 100 x 70cm

PORO



Poro II, 2023. Imagen digital. 100 x 70 cm

ESPIRAL



Espiral II, 2023. Imagen digital. 100 x 70 cm

5. CONCLUSIONES

Primeramente, la investigación teórica y la documentación aportada en el trabajo nos ha permitido ver la importancia y la influencia de la escala ya no sólo en las artes plásticas, sino en otras disciplinas. La investigación teórica llevada a cabo en este trabajo se ha encontrado en medio del camino de la producción artística personal, lo que ha provocado que se abriera un nuevo abanico de posibilidades y campos por explorar, pero también ha ayudado a fortalecer y comprender obras anteriores.

La geometría fractal es un buen enlace entre el arte y la naturaleza, por lo que haber profundizado más en ella ha permitido poder aplicar nuevas estrategias en la práctica artística para entender y representar de una forma más consciente esta unión.

Por otro lado, la experimentación de la estética fractal en el trabajo ha sido variada y ha permitido conocer muchos recursos. De los resultados gráficos obtenidos tanto en la práctica digital como la práctica analógica, finalmente la Serie **Rama-poro-espiral** representa mejor la aplicación de la alteración de la escala y los fractales, la dualidad entre lo tradicional y lo digital. Sin embargo, la experimentación y creación de imágenes y vídeos a partir de programas informáticos ha sido una buena oportunidad para conocer herramientas digitales que pueden emplearse posteriormente en el trabajo personal.

6. PROYECCIÓN FUTURA DEL TRABAJO.

Posible tesis y divulgación

Este trabajo surgió como un pequeño paso para desarrollar el tema de la escala y la percepción en una posible tesis, siendo el Trabajo de Fin de Máster como un punto de partida.

Por eso, a partir de las cuestiones que se plantean en este trabajo, se propone realizar un proyecto expositivo en el que se reúna tanto a artistas que trabajen con la alteración de la escala y su obra esté vinculada estética o conceptualmente a comprender las estructuras de la naturaleza y a los fractales como a matemáticos e informáticos que estudien la geometría fractal. Sería interesante conocer distintas formas de entender esta geometría y los resultados que pueden obtenerse uniendo el arte con la ciencia.

Además, los conocimientos adquiridos del uso de distintas herramientas digitales que nos permiten generar imágenes y modelos 3D fractales podrían emplearse para realizar una sesión para alumnos de Máster o Bellas Artes que estén interesados en conocer estos recursos para su propio trabajo.

7.BIBLIOGRAFÍA y WEBGRAFÍA

Bibliografía

Arnheim, R., & Masera, R. (1985). *El pensamiento visual / Rudolf Arnheim*; traducida por Rubén Masera (4a ed.). Eudeba.

Boom, H. van den, & Romero Tejedor, F. (1998). *Arte fractal: estética del localismo / Holger van den Boom, Felicidad Romero Tejedor*. Arbeitsstelle für Designinformatik der Hochschule für Bildende Künste Braunschweig.

Cabezas Gelabert, L., & Ortega de Uhler, L. F. (2001). *Análisis gráfico y representación geométrica / Lino Cabezas Gelabert, Luís F. Ortega de Uhler*. Universidad de Barcelona.

Cabezas, L., & Vílchez, I. L. (Eds.). (2016). *Dibujo científico: arte y naturaleza, ilustración científica, infografía, esquemática*. Cátedra

Elam, K., & Marcos, Á. (2014). *La Geometría del diseño: estudios sobre la proporción y la composición / Kimberly Elam*; traducción Álvaro Marcos. Editorial Gustavo Gili

Ernst, B. (2018). *El espejo mágico de Maurits Cornelis Escher / Bruno Ernst*. Taschen.

Guerrero Pino, G., Roldán Charria, J., & Ben-dov, Y. (2004). *El paso del geocentrismo al heliocentrismo*.

Julia, G. (1918). Mémoire sur l'itération des fonctions rationnelles. *Journal de mathématiques pures et appliquées*, 1, 47-245.

Le Corbusier. (1961). *El modular: ensayo sobre una medida armónica a la escala humana aplicable universalmente a la arquitectura y a la mecánica / Le Corbusier* (2a ed.). Poseidón.

López, S., López, L., del Rosario, M., López, C. M., & López, D. J. (2003). *Geometría fractal en la Alhambra*. Cuadernos de la Alhambra n. 39 Disponible en: <https://www.alhambra-patronato.es/ria/handle/10514/14198>)

Mandelbrot, B. B., & Llosa, J. (2009). *La geometría fractal de la naturaleza / Benoît B. Mandelbrot*; traducción de Josep Llosa (3a ed.). Tusquets.

Mandelbrot, B. B. (2000). *Los objetos fractales: forma, azar y dimensión / Benoît* (5a ed.). Tusquets.

Mankiewicz, R. (2000). *Historia de las matemáticas: del cálculo al caos / Richard Mankiewicz*. Paidós.

Rivera, E., & López, R. (2012). *Evidencia de propiedades fractales en la sucesión de Fibonacci usando wavelets*. Scientia et technica, 17(52), 122-128.

Samper, A., & Herrera, B. (2015). *Análisis de comparación fractal de la Sagrada Familia con las Catedrales Góticas*. Informes de la Construcción, 67(538), e072-e072.

Viñolas i Marlet, J. (2005). *Diseño ecológico: hacia un diseño y una producción en armonía con la naturaleza* / Joaquim Viñolas i Marlet. Blume.
Franco Taboada, J. M. (1996). *El Modulor de Le Corbusier (1943-1954)*. Repositorio Universidade Coruña. pg 20-30
https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/5278/ETSA_20-6.pdf

Webgrafía

Álvarez, R. (5 de noviembre de 2017). *Este alucinante corto de ciencia ficción ha sido creado por un ordenador usando únicamente fractales*. Xataka.
<https://www.xataka.com/cine-y-tv/este-alucinante-corto-de-ciencia-ficcion-ha-sido-creado-por-un-ordenador-usando-unicamente-fractales>

de Fez, (10 de diciembre de 2010) *Los viajes e Gulliver*. Fotogramas.
<https://www.fotogramas.es/peliculas-criticas/a423935/los-viajes-de-gulliver2/>

Forssman, A. (16 febrero 2017) *Una muestra con dibujos de Santiago Ramón y Cajal recorre Estados Unidos y Canadá*. National Geographic.
https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/una-muestra-con-dibujos-santiago-ramon-cajal-recorre-estados-unidos-canada_11187

Fractal foundation. (s.f.) Fractal software.
<https://fractalfoundation.org/resources/fractal-software/>

de Giuli, R. [Roman de Giuli] (10 de octubre 2022). *A SENSE OF SCALE-REMINISCENCE / 8K HDR FLUID LANDSCAPES ON PAPER*.
<https://www.youtube.com/watch?v=52EQpOvgVq8>

Jersey, B. (Director) Schwarz, M. (Director) (2008, 28 octubre) *Hunting the Hidden Dimension* (Temporada 35, episodio 14) [Capítulo de serie de televisión]) Paula S. Apsell (Productor ejecutivo) *Hunting the Hidden Dimension*. Quest Productions (Productoria) Kikim Media (Productora) asociado por The Catticus Corporation

Jobson, C. (31 de mayo 2012). *Brock Davis juega con su comida*. Colossal.
<https://www.art-consciousness.com/2012/05/brock-davis-plays-with-his-food/>

Mitchell, Kerry. (1999). *The fractal art manifesto*. Fractalus.
<https://www.fractalus.com/kerry/articles/manifesto/fa-manifesto.html>

Monleón, S. (Director). (2008). *El último truco* [Documenta]. Aiete-Ariane Films
Argote, J. (6 de abril de 2013) *Sierpinski*. Asociación Ceat.
<http://www.asociacionceat.org/aw/2/sierpinski.htm>

Nasseri, T. (s.f) *One and one*. Timo Nasseri.
<https://www.timonasseri.com/one-and-one>

Neuer, Eva.(27 septiembre 2000) *Manifiesto del Fractalismo* Fractalismo.
<https://fractalismo.org/>

Pestano, B. (Guion), Christopher,B (Animación).[BBC News Mundo](25 de febrero 2020).*Qué son los fractales y cómo pueden ayudarnos a entender el universo | BBC Mundo*. [Video]. Youtube:
<https://www.youtube.com/watch?v=4u7TwSwo0rU>

Pierce,B. (Director).(2011) *Sense of Scale* [Documental] Berton Pierce, Tom Griep (Productores)

Sáenz de Cabezón, E. [Derivando] (11 de noviembre 2015). *¿Qué son los fractales?* [Video]. Youtube https://www.youtube.com/watch?v=Wea_1L-C9Xo&t=123s

SINC.Ciencia contada en español.(29 de septiembre de 2021).*El Landsat 9 ya está en órbita para guiar con mejores fotos el futuro de la Tierra*
<https://www.agenciasinc.es/Noticias/El-Landsat-9-ya-esta-en-orbita-para-guiar-con-mejores-fotos-el-futuro-de-la-Tierra>

Tong, Y. (s.f.) *Fractal life*. <http://www.yehrintong.com/#/fractal-life/>

IRENE QUIÑONERO PUEY

Dirección Postal:
C/Ametller, Num 31
(Sentmenat) 08181
Dirección electrónica:
irequipuey@gmail.com
Telf: 663795148

IDIOMAS

Español
Nivel: Nativo
Catalán
Nivel: Nativo
Inglés
Nivel: Certificado B2

FORMACIÓN

Universidad de Granada-
Máster Universitario de
Dibujo- Ilustración,
Cómic y
Creación Audiovisual
2022- ACTUALMENTE

Curso Historia global de
la arquitectura islámica:
espacio, ciudad, arte
Universidad del Rosario:
URosarioX enseñanza online.
2022

Universidad de Sevilla,
Facultad de Bellas Artes
- Grado en Bellas Artes
2018- 2022

EXPERIENCIA

Evaluador- Fundación Madri-d

Participación en procesos de
acreditación y reacreditación de
títulos
universitarios oficiales.
Elaboración de informes
individuales siguiendo estándares
oficiales de
calidad y participación como vocal
en paneles de visita.
Actualidad

Ilustrador gráfico-Ayto. Orce

Ilustración científica aplicada a la
arqueología. Infografía.
2023
Orce

Colaboración proyecto fotográfico "Chiasso" de Amato Casimiro y Giulia Turri..

2022
Sevilla

Diseño gráfico-Galería Rafael Ortiz

Diseño y maquetación de
catálogos y carteles
promocionales de las
exposiciones y eventos.
2022
Sevilla

BECAS

Grupo Compostela Universidades (Santiago de Compostela) -Beca de participación en el proyecto "ConArte no Camiño"

Ferrol
2021

EXPOSICIONES

OBG 2021. Operación Buena Gente – Arte, Diseño y Comunicación para Cadena SER

Exposición colectiva. Facultad de
Bellas Artes. Sevilla
2022

" 43° 28'42"N 08°14'38"W"

Exposición colectiva. Centro cultural
Torrente Ballester- Ferrol
2021

"Viaje desde mi habitación". Una exposición de videoarte realizado en las facultades de Bellas Artes de Sevilla y Granada.

Exposición colectiva. Facultad Bellas
Artes. Sevilla.
2021

"AION -AETERNITAS"

Exposición conjunta con Juan Miguel
Contreras
Centro de Arte Joven Rey Chico
Granada

22 mayo-22 junio 2023

"Diálogos con el tiempo"

Exposición colectiva.
Iglesia de San Alberto. Sevilla
6 junio- 26 junio 2023



