



**Universidad
de Guanajuato**

CAMPUS GUANAJUATO
DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA, ARTE Y DISEÑO
POSGRADO EN ARTE

Aleatoriedad y Caos aplicados en una instalación dotada de movimiento y sonido, a partir de lo cual se lleva a cabo un análisis del azar implícito en la *autoconstrucción* de Abraham Cruzvillegas

TESIS

QUE PARA OPTAR AL GRADO DE MAESTRO EN ARTE PRESENTA:

AGUSTÍN RIVERA RIVERA

DIRECTOR DE LA TESIS: MTRO. ROLANDO RAMOS REYES

SINODALES:

DR. JAIME A. BAILLÈRES LANDEROS

DRA. CYNTHIA P. VILLAGÓMEZ OVIEDO

GUANAJUATO, GTO., A 19 DE MARZO 2019

Para mi esposa: Luz Gabriela Gutiérrez

Para mis hijos: Miguel Ángel y Frida Itzel

Para mi entrañable familia materna

Para mi padre, Lorenzo Rivera V. † y mi tío, Pbro. Miguel Rivera V. †, los primeros
motivadores para mi espíritu de investigación

AGRADECIMIENTOS

Quiero externar un sincero y profundo agradecimiento a todas las personas que me apoyaron en la realización de este proyecto, especialmente:

A Gaby, mi esposa, compañera incondicional y mi máxima inspiración: gracias a tu esfuerzo y sacrificios es que pude llegar hasta aquí.

A mis hijos Miguel Ángel y Frida Itzel, los dos máximos orgullos en mi vida.

A mi hermano Cirilo (*Chilo*), que siempre me ha tendido una mano generosa e incondicional para poder cumplir mis proyectos.

A mi Madre y a mis demás hermanos y hermanas, que siempre estuvieron al tanto de mis progresos y se sumaron conmigo para alcanzar mi tarea con éxito.

A los Doctores y Maestros de la Universidad que me guiaron en la parte académica de esta tesis, en especial al Mtro. Rolando Ramos por su dedicada y exquisita asesoría, al Dr. Jaime Baillères por su empuje y su inapreciable apoyo en mi proyecto de admisión a la Maestría y a la Dra. Cynthia Villagómez por darme el impulso que necesitaba para darle un propósito claro a mi investigación.

Y de manera muy especial al maestro Abraham Cruzvillegas por sus finísimas atenciones para leer y brindarme su apreciación acerca del tema central de esta investigación.

A todos ustedes: ¡Mil gracias!

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE	3
INTRODUCCIÓN GENERAL	6
MAPA CONCEPTUAL DE LA TESIS	15
CAPÍTULO 1: DE LA CIENCIA Y EL CAOS EN EL ARTE	16
1.1.-Introducción	16
1.2.-Cómo evidenciar la relación entre el Caos y la práctica del arte.....	17
1.3.-Injerencia de las matemáticas en el arte de la Grecia clásica	18
1.3.1.-Pitágoras y los números como constitución del mundo	18
1.3.2.-Platón y el mundo de las ideas	20
1.3.3.-La perfección en la demostración lógica del teorema de Pitágoras y su implicación estética	22
1.3.4.-Pitágoras y la objetivación de la belleza a través de nociónes matemáticas como la proporción y la armonía.....	27
1.3.5.-La relación entre la sección áurea y el pentagrama pitagórico	30
1.3.6.-Obtención de la espiral equiángula mediante la división de un segmento en extrema y media razón	37
1.3.7.-Explicación al atractivo estético de la proporción áurea.....	39
1.4.-El racionalismo y la geometría analítica de Descartes rompen con el paradigma de la geometría euclidiana	42

1.5.-Orígenes y epistemología de la ciencia del Caos	44
1.5.1.-Del caos mítico al Caos científico	45
1.5.2.-Algunas consideraciones generales sobre el azar y su filiación con otros términos relacionados	48
1.5.3.-Aparición de la ciencia determinista y su postura respecto del azar y el caos	51
1.5.4.-La <i>inspiración</i> dentro de la praxis del arte, objetivada a través de la acción del azar y el accidente.....	55
1.5.5.-El primer encuentro entre la ciencia y el Caos.....	57
1.5.6.-Edward Lorenz y el clima: nacimiento de la teoría del Caos...63	
1.6.-Los fractales	69
1.6.1.-Relación entre el Caos y los fractales	69
1.6.2.-La dimensión fractal	71
1.6.3.-Determinación del valor fractal de un objeto.....	72
1.6.4.-Ejemplificación de la dimensión fractal a través de la figura del copo de Koch	76
1.6.5.-Los fractales como una forma de arte basado en la tecnología	77
1.7.-Intervención de lo aleatorio en el arte visual.....	82
1.7.1.-Marcel Duchamp y el “Gran vidrio”	84
1.7.2.-Los patrones fractales en la obra de Jackson Pollock	90
1.7.3.-John Cage y sus composiciones basadas en el azar y en la indeterminación	97

1.7.4.-Cómo el lanzamiento de una moneda puede generar la aparición de un atractor extraño	102
CAPÍTULO 2: LO ALEATORIO EN LA AUTOCONSTRUCCIÓN DE ABRAHAM CRUZVILLEGAS	
2.1.-El significado del azar y lo aleatorio en el arte objetual durante el transcurso del s. XX.....	105
2.2.-Semblanza biográfica de A. Cruzvillegas	110
2.3.-Visión general del objetualismo utilizado por Cruzvillegas dentro de su concepto de autoconstrucción.....	112
2.4.-La metodología de la autoconstrucción	114
2.5.-El papel del azar en algunas de las obras de Cruzvillegas.....	121
2.6.-“Empty Lot”	127
CAPÍTULO 3: DESARROLLO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO PARA UNA INSTALACIÓN QUE UTILIZA EL CAOS COMO TEMA CONFIGURATIVO	
3.1.-Modelos metodológicos	134
3.1.1.-Proceso de diseño.....	134
3.1.2.-Desarrollo de las fases para la concreción de un producto creativo	139
CONCLUSIONES.....	168
REFERENCIAS.....	177
INDICE DE IMÁGENES.....	184

INTRODUCCIÓN GENERAL

La tarea emprendida en este trabajo de investigación acerca de los lenguajes contemporáneos de las artes visuales, se enfocó primordialmente en la exploración de un área del conocimiento que en sus inicios se inscribió dentro del campo de las matemáticas, pero que recientemente se volvió también un asunto implicado con la expresión artística. Se trata de la Teoría del Caos en su relación fenoménica y epistemológica con la praxis del arte fundamentado en el azar.

El azar está conceptualizado tradicionalmente como el extremo opuesto a lo predecible, y en lo que respecta a su relación con el arte, es fuente de añejas referencias sobre las formas en que el genio creador toma lugar más allá de los límites de una estructuración planeada conscientemente, y donde el artista deja en manos de la indeterminación parte importante de la poética¹ incluida en su obra.

La Teoría del Caos, por otra parte, discurre alrededor de un *logos* matemático surgido hace menos de sesenta años, pero que aún a pesar de ello ya ha logrado cimbrar los fundamentos de la ciencia determinista, al reconfigurar su visión acerca de una naturaleza sistematizable en la que casi todo parecía estar sujeto a predictibilidad.

Resulta necesario aclarar ya mismo, que lo que se conoce habitualmente como Teoría del Caos, implica realmente a la *teoría moderna de la dinámica no lineal* (Stewart, 2012). El otro nombre, el de «Teoría del Caos», fue un acuño de la prensa popular, más simple y convenientemente más corto a la hora de escribirlo,

¹ La poética se entiende aquí como el proceso artístico en cuanto a fenómeno operacional que incluye elementos teóricos y prácticos de acuerdo con una tendencia en particular (Marchán, 2001).

lo que ha creado una percepción ambigua sobre los alcances reales de esta teoría. Actualmente sigue predominando la interpretación inmediata y hasta peyorativa como sinónimo de desorden por sobre el sentido real intrínsecamente complejo de esta área físico-matemática.

Debido a lo anterior, se utilizará aquí entonces el término simplificado *Caos*, con mayúscula inicial, como referencia al “...estudio cualitativo de la conducta periódica e inestable en sistemas dinámicos deterministas y no-lineales.” (McNabb, 2004, p.2), definición y denominación que se aplicarán para los fines concretos de esta investigación². Al otro caos, como sinónimo de desorden, o caos aleatorio, se le mencionará simplemente como *caos*, sin mayúscula inicial.

A pesar de constituir una disciplina físico-matemática de reciente implementación, el Caos se encuentra en una etapa tal en la que ha comenzado a aplicarse en campos muy distintos a aquellos que le dieron origen, siendo desde luego el de las artes, y específicamente las artes visuales, el que interesa indagar aquí.

Para lograr esta tarea, la manera de proceder ha sido iniciando con la propuesta conceptual y ejecución parcial de una instalación dotada de movimiento y sonido aleatorios, obtenidos ambos mediante la interacción entre elementos tecnológicos y especímenes acuáticos vivos, un ensamblaje bio-dinámico concretado alrededor de la información de primera mano que suele circular en los medios en torno al paradigma del Caos. A partir de este primer acercamiento, se

² La explicación adecuada sobre el significado de esta definición se encuentra a lo largo del subcapítulo 1.6 «Orígenes y epistemología de la ciencia del Caos».

fue consolidando una investigación mucho mejor documentada y más profunda sobre la epistemología que sustenta a los fenómenos de tipo caótico³, remarcando algunos de los aspectos cualitativos que los caracterizan, para contrastarlos posteriormente con la manera de manipular o utilizar materiales llevada a cabo en casos particulares dentro de la praxis de cuatro artistas que aplicaron de manera evidente lo accidental y/o lo casual dentro de sus creaciones.

Tales casos referenciados para esta revisión fueron dos de los elementos que integran al «Gran vidrio» de Marcel Duchamp, pasando luego al examen científico de los lienzos realizados mediante el *dripping* de Jackson Pollock, después el uso de la indeterminación por John Cage entre 1951 y 1957, y por último culmina en el arte visual de nuestros días a través de la práctica de la autoconstrucción en manos del artista mexicano Abraham Cruzvillegas.

El resultado buscado a partir de este ejercicio fue el de poner en relieve la utilización de procesos aleatorios en la obra de estos personajes, materializados por medio de contingencias surgidas a través del azar, para posteriormente proponerlos como casos en donde lo que realmente ocurre es un caos determinista⁴.

³ El concepto de epistemología aquí aplicado coincide con el de M. Bunge (2002), en el sentido de ser la rama de la filosofía que estudia la investigación científica y por consecuencia al conocimiento científico, pero destacando aquí de entre sus muchos otros aspectos, el énfasis en la interpretación fáctica de las teorías matemáticas y el establecimiento de valores estéticos como parte de la ciencia, ambos aspectos consistentes con la implementación de una epistemología actualizada y cada vez más alejada de su periodo escolástico, de acuerdo a lo que dice Bunge.

⁴ Lo caótico determinista se establece de esta manera como una categoría de eventos diferente a lo caótico aleatorio: lo primero remite al Caos, mientras lo segundo se refiere específicamente al azar en tanto evento ajeno a toda posibilidad de modelamiento alrededor de un patrón discernible.

El señalar con exactitud el origen de estas contingencias, busca como consecuencia inmediata la resemantización de las mismas, proponiendo algunos cambios en las consideraciones de naturaleza ontológica hacia las obras en donde estas hubieran tenido lugar, pues el Caos posee realmente una estructura racional basada en patrones, autosimilitud y cualidades de auto-organización, lo que redundaría en una serie de características evidentemente estéticas vueltas visibles al graficarlas en una escala espacio-temporal⁵, todo ello incompatible con el azar.

Los precedentes del Caos fueron vislumbrados por un pequeño grupo de físicos y matemáticos a partir de finales del s. XIX, pero su develación como un área de la ciencia se concretó definitivamente hasta la década de 1960 a través de distintos modelos teóricos y datos comprobados experimentalmente, logrando asimismo su visualización en forma de órbitas fantásticas infinitamente irrepetibles girando alrededor de los objetos conocidos como *atractores extraños*⁶.

Con todo lo anterior puede especularse que, si fuera posible extraer del Caos una serie de valores aplicables a la obra artística visual, devendría de inmediato en ciertas propiedades intrínsecas relacionadas con su contenido sintáctico —estructura, proporción, movimiento, etc.—, referidas al modo en que los elementos aparentemente accidentales de la obra, se ordenan realmente a

⁵ El fenómeno del Caos se objetiva en primera instancia a través de datos generados matemáticamente que imitan el comportamiento real de aquello que se estudia. Estos datos consisten en grandes cantidades de cifras numéricas que, al trasladarse a un formato gráfico, muestran el recorrido continuo de una línea con las propiedades arriba señaladas.

⁶ Tomando en cuenta la designación de *fenómeno* como “...todo objeto posible del conocimiento humano...” (Abbagnano, 1993, p. 531), el *atractor extraño* es un fenómeno que se evidencia a través de gráficas generadas cuando un fenómeno en movimiento que puede predecirse en el corto plazo, se vuelve irregular o caótico al paso del tiempo, pero sin aun así apartarse de ciertos valores límite, lo que significa que es atraído hacia un punto en particular. Un ejemplo de esto es el flujo uniforme de un líquido contenido dentro de un cauce, que al aumentar su velocidad se vuelve turbulento (Gleick, 1987).

través de una compleja dinámica de patrones intangibles, pero de alguna manera perceptibles inconscientemente de manera semejante a lo que ocurre con buena parte del contenido estético implícito en una pieza artística.

La estructura del Caos solo puede comprobarse mediante un análisis matemático bastante prolijo, y por ello fue hasta que hace muy poco el Caos comenzó a constituirse en una categoría de fenómenos *sui géneris*, muy diferente del concepto del azar aplicado en la técnica creativa de algunos artistas al menos desde principios del s. XX.

Si bien existen serios obstáculos para comprobar dentro del ámbito cotidiano la diferencia entre Caos y azar, las cualidades únicas del primero se ilustran de manera espectacular con los fractales, una de las maneras más recurridas actualmente de crear arte digital por medio de la manipulación de datos matemáticos.

Los fractales fueron desarrollados inicialmente como una geometría particular para describir de forma más realista los contornos de la naturaleza, tales como una línea costera, las nubes o los rayos, y después fueron utilizados para poder visualizar la estructura dinámica de sistemas físicos tan complejos como el clima, lo que terminó por enlazar a los fractales y el Caos como dos aspectos de un mismo fenómeno.

El tema de los fractales marca el final para el contenido y los alcances del primer capítulo, pero existen otras dos cuestiones que se desarrollan

posteriormente y hacia los cuales se vierten los conceptos establecidos en el capítulo uno.

A lo largo del capítulo dos se examina la metodología creativa utilizada por el artista mexicano contemporáneo Abraham Cruzvillegas, en busca de indicios compatibles con los procesos dinámicos estudiados por el Caos.

A diferencia de los otros tres artistas revisados en el capítulo uno, donde se aborda a sus respectivas obras mayormente desde el plano sintáctico al considerar al azar como base de la estructura formal de la obra, en Cruzvillegas se hace un mayor énfasis en la búsqueda del papel de lo precario y caótico dentro de un contenido semántico enlazado a su postura política y académica⁷, así como también a las circunstancias de vida de este artista mexicano, para tratar de establecer cómo es que surgió su concepto creativo de autoconstrucción, mismo que encierra el sentido de la mayoría de sus obras a partir de 2007.

Las razones para elegir a Cruzvillegas como tema para todo un capítulo obedecen a las evidentes propiedades de su obra como resultado de procesos metodológicos afines con el azar, y en consecuencia también al aspecto desordenado propio del objeto artístico mismo resultante de su aplicación. Lo que se busca con esto es remarcar los elementos de improvisación dentro de la metodología que el artista siguió para darle materialidad a su concepto, y cómo es

⁷ Tanto lo sintáctico como lo semántico refieren a una consideración semiótica de la obra en tanto signo intermediario entre su productor y su consumidor, es decir como un lenguaje artístico específico, en el cual lo sintáctico se refiere al modelo de orden entre sus elementos y lo semántico a los significados y valores informativos y sociales de los que es portadora (Marchán, 2001).

que esta clase de poética es ponderada por críticos de su obra y por el artista mismo.

Una ventaja de elegir a Cruzvillegas para esta investigación por sobre otros artistas contemporáneos que utilizan el azar, es la posibilidad de apreciar varias de sus obras en físico, además de contar con una importante cantidad de fuentes documentales accesibles y serias que hablan acerca de sus procesos creativos y cómo estos han ido emergiendo a lo largo de su trayectoria.

A partir de todo lo anterior, interesa entonces establecer como objetivos principales de esta investigación el poder aclarar:

- a) cómo Cruzvillegas ha recurrido de cuando en cuando a la mención del caos, del azar y el desorden como el fundamento de sus autoconstrucciones
- b) si es que puede existir un Caos real en sus procedimientos, y
- c) de haberlo, reflexionar sobre si las implicaciones ontológicas y estéticas al mutar el azar en Caos pueden abonar un valor agregado en el modo de ponderar la obra de Cruzvillegas o en la de los otros artistas revisados en el capítulo uno.

Para lograr los fines delineados en esta introducción, fue necesario recurrir a una extensa lista de fuentes documentales físicas y digitales, destacando los textos rectores de Ian Stewart « ¿Juega Dios a los dados?», y de James Gleick «Caos, la creación de una ciencia», documentándose a través de ellos los orígenes y la epistemología del Caos. Así mismo, también se recurrió a la excelente compilación «Textos sobre la obra de Abraham Cruzvillegas», editada

por la Dirección General de Publicaciones de la Secretaría de Cultura, que abarca una gran parte de los temas nodales remitidos al capítulo dos de esta investigación. Destaca también el texto de Simón Marchán Fiz «Del arte objetual al arte del concepto», un texto cuya importancia reside en su capacidad de describir con extraordinaria claridad y eficacia aquellas poéticas en las que se fundamenta todavía una gran parte del arte visual de nuestros días y que hicieron su aparición con Duchamp, Cage y Pollock, siendo los dos primeros referentes destacados para las tendencias estilísticas adoptadas por Cruzvillegas en su obra.

Para concluir esta investigación se incluye un capítulo tres, destinado a ilustrar los procedimientos llevados a cabo para materializar el proyecto de una instalación móvil y sonora de autoría propia, cuyo primer objetivo particular fue el de poner en relieve algunos procesos dinámicos naturales afines con el azar y el Caos, y su transformación en un constructo que coadyuvara a los fines inherentes a la hipótesis de trabajo de esta investigación⁸.

A pesar de que el proyecto de la instalación fue el punto de origen para que el resto de la investigación tomara lugar, su desarrollo se presenta hasta el tercer capítulo debido a que tanto su configuración semántica como su aspecto material se fundamentan en la ocurrencia de dinámicas que van desde lo aleatorio y lo indeterminado hasta lo netamente caótico, siendo necesaria la contextualización

⁸ Sergio González R., periodista y ensayista mexicano, en su artículo «Teoría del constructo» (Abaroa et al, 2016), propuso la tesis personal de que los constructos son "...construcciones teórico-cognoscitivas para resolver algún acertijo relacional dado..." (p. 187), además de "...puestas en marcha de oposiciones materializadas con fines de conocimiento y transformación..." (p. 186). Esta concepción del constructo es propuesta por González para describir el trabajo de Abraham Cruzvillegas en torno a su práctica de autoconstrucción, y será considerada como acertada por el autor de esta investigación, aún y cuando el constructo es designado habitualmente con un carácter exclusivamente mental y/o intangible.

del primer y segundo capítulos para su correcta interpretación epistemológica, aunque lo más correcto sería afirmar que los tres capítulos fueron evolucionando de manera conjunta e interdependiente.

Y es por ello que un segundo objetivo particular para el tercer capítulo fue el de buscar que el desarrollo de la instalación planteada en él, terminara por asumir un papel no solo como un lugar de experiencia estética, sino también como el principio de una investigación fincada alrededor del proceso creativo mismo, una postura respecto a la *poíesis* que Duchamp vislumbró y aplicó hace ya alrededor de cien años (Urbina, 1983).

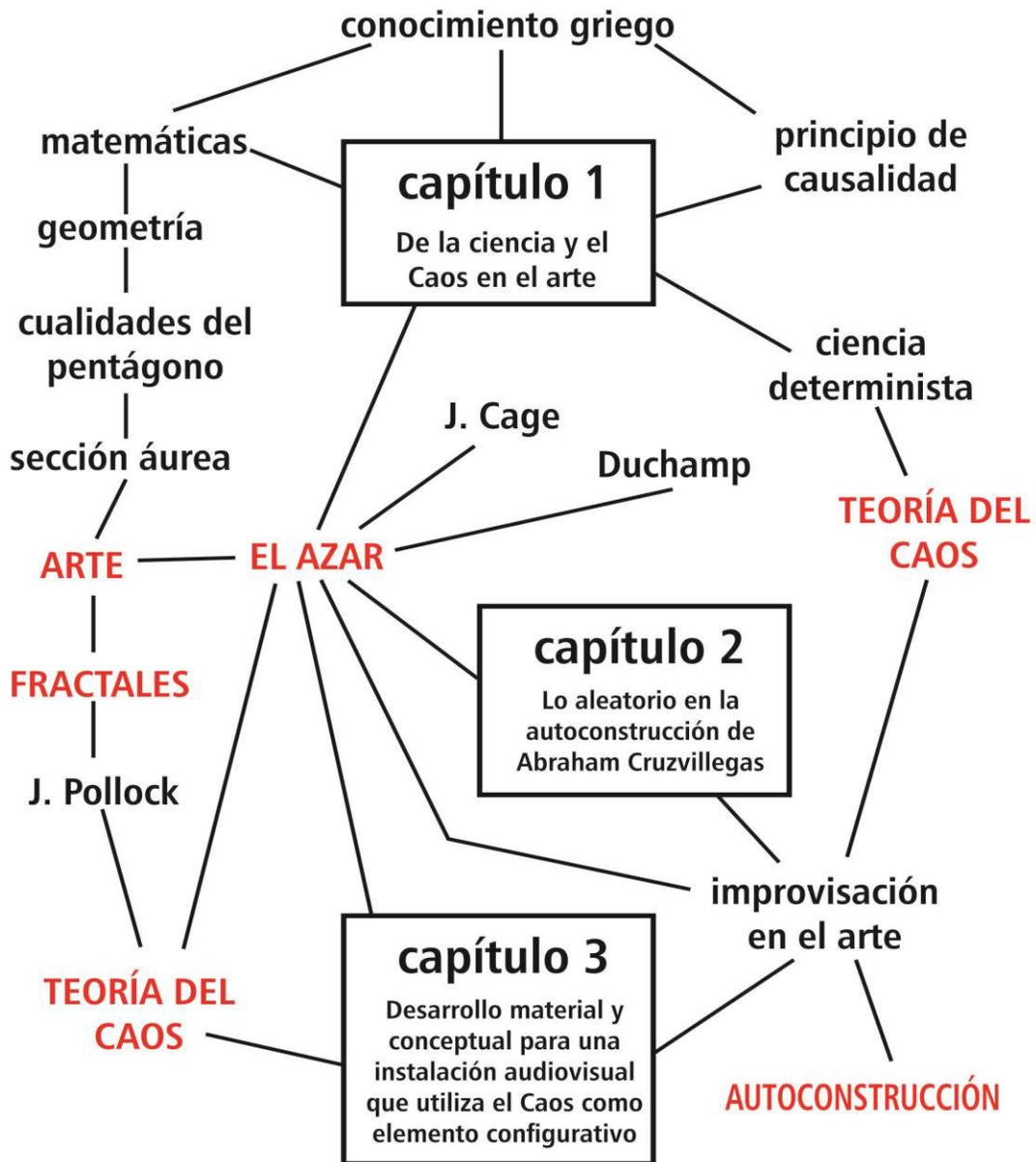
De lo expresado hasta este punto, se propone unificar entonces el desarrollo de los tres capítulos que conforman a esta investigación a través de la siguiente hipótesis de trabajo:

Aquello que se ha considerado típicamente como azar en la configuración material de la obra de algunos artistas visuales a partir del siglo XX no consiste en un proceso con un origen epistemológico indeterminado, sino que pertenece realmente a un grupo de fenómenos dinámicos y en cierto modo deterministas, factibles de ser develados y estudiados a través del campo matemático conocido comúnmente como la teoría del Caos.

Una vez finalizado el capítulo tres, se evaluará si los objetivos trazados para esta investigación fueron cumplidos a satisfacción, quedando para las conclusiones finales el tratar de dirimir si la diferencia entre considerar el uso del azar o del

Caos pueden determinar un cambio en la manera de aprehender a este tipo particular de objetos artísticos.

MAPA CONCEPTUAL DE LA TESIS



CAPÍTULO 1: DE LA CIENCIA Y CAOS EN EL ARTE

1.1.-Introducción

Aunque el contenido de este capítulo discurre sobre algunos aspectos de las matemáticas, no se pretende abordar tales aspectos de la manera en que lo haría un estudioso especializado en el tema, sea este un matemático, un físico o ambos, pues no es la intención forzar al lector a una incursión temeraria o al menos incómoda en un campo que, dados los propósitos de esta investigación, no se identifica en primera instancia como parte de un estudio sobre la concepción y elaboración de una obra artística visual.

La necesidad entonces de incluir un extenso contenido del orden matemático antes que cualquier otro, se debe principalmente al hecho de que, a la luz de los avances en la ciencia logrados con ayuda de los ordenadores a partir de los años sesentas, se logró comprobar la intuición de algunos científicos y artistas sobre la existencia de un factor racional oculto que dotaba de sentido, orden y belleza a una parte de aquellos fenómenos y objetos materiales considerados hasta entonces como caóticos y desordenados, siendo gracias a un modelo matemático del clima que se logró develarlos y reinsertarlos dentro de una nueva área de estudio ahora ya reconocida comúnmente como la Teoría del Caos⁹.

Desde luego existe una gran cantidad de información sobre las matemáticas en su desarrollo histórico y epistemológico alrededor del Caos, pero

⁹ Fue una investigación sobre un grupo de ecuaciones que describían el clima, llevada a cabo por el meteorólogo norteamericano Edward Lorenz la que, en 1963, mostró por primera vez una imagen en donde datos aleatorios formaban una línea continua y ordenada girando alrededor de un área concreta (Stewart, 2012).

dados los límites y los objetivos de la presente investigación, se optó por elegir el camino hacia una relación de datos tan oportuna y específica como fuera posible, ponderando la implicación de la ciencia y las matemáticas al interior del campo estético y artístico, esto aun cuando no se respete un orden cronológico estricto, ni se incluya de manera exhaustiva la información disponible.

1.2.-Cómo evidenciar la relación entre el Caos y la práctica del arte

El Caos es el resultado de reconsiderar al azar, lo impredecible y lo desordenado, transformándolos en una categoría de fenómenos que, *grosso modo*, son determinados por pautas organizadas alrededor de los límites de un espacio-tiempo limitado conocido como atractor extraño (Martínez & Bulajich, 1993).

Debido a que se halla encriptado en un camino entre la física y las matemáticas, analizar y comprender este grupo de fenómenos empíricamente resultaría en una tarea infructuosa, por lo que al igual que en cualquier otro objeto de estudio de las ciencias fácticas¹⁰, el estudio sobre el Caos requiere del empleo de modelos simplificados de los fenómenos estudiados, traducidos al lenguaje de las matemáticas (Ramírez, 2010). Estos modelos se confrontan posteriormente con datos reales obtenidos experimentalmente, tratando de comprobar así su validez y existencia en el mundo real, por lo que se destaca como parte importante de la labor del primer capítulo, proporcionar un marco teórico acerca de los modelos utilizados para exhibir y entender las condiciones dentro de las cuales el Caos se manifiesta.

¹⁰ A diferencia de las ciencias formales como las matemáticas, las ciencias fácticas estudian hechos reales y tangibles (Bunge, 2001)

A pesar de los grandes avances científicos y tecnológicos que entrañó identificarlo por primera vez¹¹, es un hecho que el Caos se ha incluido de manera vaga en las consideraciones filosóficas, matemáticas y artísticas del ser humano desde que se tiene registro, por lo que un primer paso indispensable en esta investigación ha sido el de establecer su relación histórica con el arte y la ciencia.

Para lograr esto se llevó a cabo un estudio sobre los orígenes de la proporción áurea, un concepto geométrico de amplia aplicación en las artes desde la Grecia clásica, y cuya relación con ciertos aspectos del Caos tienen resonancias científicas y pragmáticas hasta el día de hoy.

No hay duda de que aclarar esta referencia histórica facilitará al lector el entendimiento de aquellos conceptos y terminologías propios de la ciencia del Caos que se utilizan el día de hoy, así como de que será la base para aprehender sus diferencias con el azar y el accidente en tanto recursos metodológicos en la conformación de la obra de arte.

1.3.-Injerencia de las matemáticas en la filosofía y el arte de la Grecia clásica

1.3.1.-Pitágoras y los números como constitución del mundo

Un primer asunto primordial sobre las matemáticas tiene que ver con la esfera de su existencia. ¿Son las matemáticas un tipo de ente abstracto racional o existen en una realidad ajena e independiente del intelecto humano? ¿Cuál es la naturaleza del conocimiento matemático?

¹¹ Entre estos avances se cuentan la computadora, el rayo láser y el desarrollo de la topología.

Se considera a Pitágoras (c.569–c.475 a. C.) como el primer matemático reconocido de la historia y fundador de una corriente de pensamiento cuyo principal interés para esta investigación radica en que consideraba a los números como principio y constitución del mundo (Coronado, 2002)¹². No se refería Pitágoras exclusivamente a la relación implantada por el ser propio ser humano entre los números y las cosas de manera simbólica¹³, sino que sostenía que los números tenían también una existencia real que se manifestaba en la apariencia de las cosas.

La manera en que esta propuesta filosófica se llevaría a cabo en la realidad se describe dentro del marco general del conocimiento griego explicado por Alejandro Polístor o Polyhistor¹⁴ (s. I a.C.), y recuperado por Diógenes Laercio¹⁵ (s. III d.C.), bajo el siguiente argumento:

Que el principio de todas las cosas es la unidad, y que de ésta procede la dualidad, que es indefinida y depende, como materia, de la unidad que la causa. Así, la numeración proviene de la unidad y de la dualidad indefinida. De los números provienen los puntos; de éstos, las líneas; de las líneas, las figuras planas; de las figuras planas, las sólidas, y de éstas los cuerpos sólidos, de los cuales constan los cuatro elementos, fuego, agua, tierra y aire, que trascienden y giran por todas las cosas, y de ellos se engendra el mundo animado, intelectual, esférico, que abraza en medio a la tierra, también esférica y habitada en todo su rededor. (Citado por Osorio, 2001, p.171).

¹² Si los números constituyen el mundo, entonces de alguna manera este pensamiento habría tenido como consecuencia inmediata la matematización de los objetos artísticos en tanto parte del mundo.

¹³ En el aspecto simbólico, los pitagóricos establecieron cierta configuración de números que representaba la justicia, otra representaba el alma, la razón, etc. (Coronado, 2002).

¹⁴ Historiador y filósofo griego autor de «Sucesiones de Filósofos».

¹⁵ Historiador griego, autor de «De las vidas, dogmas, apotegmas, etc., de los más ilustres filósofos griegos».

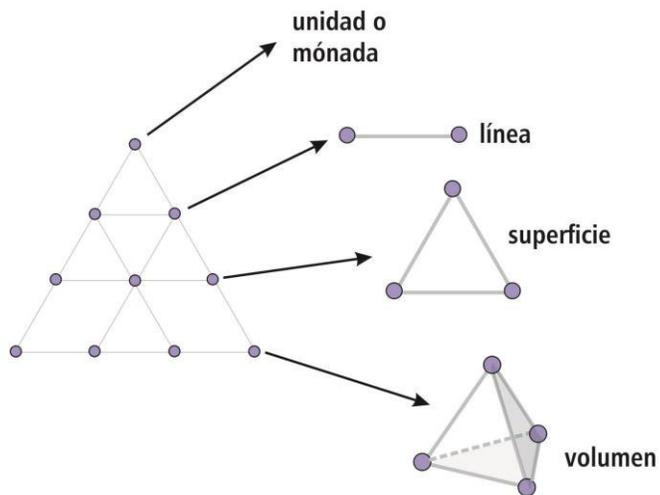


Figura 1. La tetractys y algunos de sus significados

Fueron también los seguidores de Pitágoras quienes, al utilizar piedrecillas¹⁶ para representar los números, llegaron al punto de acomodarlas una tras otra con la finalidad de formar figuras reconocibles, tales como animales o seres humanos, pero en especial le dieron un sentido sagrado al acomodo geométrico

mostrado en la Fig. 1, y al cual llamaron *tetractys* (Coronado, 2002). En este esquema, se denomina mónada¹⁷ a la piedrecilla superior o número uno y la dualidad o dos al acomodo obtenido en la segunda línea. La mónada representa al espíritu, al ser absoluto, en tanto que la dualidad es el principio de la diversidad del mundo. La tercera línea representa al concepto del plano y la cuarta al volumen. Otra versión sugiere que la segunda línea representa realmente al principio femenino, la tercera el principio masculino y la última representa a los cuatro elementos (Stewart, 2008).

1.3.2.-Platón y el mundo de las ideas

A diferencia de Pitágoras, para quien el mundo estaba formado por números tangibles, para el filósofo griego Platón (c.427-347 a.C.), las matemáticas

¹⁶ En latín la palabra utilizada para las piedrecillas fue *calculus*, de donde proviene la expresión para el cálculo de las matemáticas actuales (Serrano, 2000)

¹⁷ Del gr. μονάς, -άδος *monás, -ádos* 'unidad'

pertenecen al mundo de las ideas. Las ideas son modelos o paradigmas universales de las que el mundo físico es una copia. Estas ideas son perfectas y eternas, y aunque podemos representarlas a través de los objetos, no residen en ellos, pero tampoco son una creación de nuestra mente (Salgado, 2012).

Las ideas, al subsistir a las cosas y ser independientes de ellas, devienen entonces en substancias dentro de una realidad particular diferente de la nuestra, y este es el principio por el cual se establece el Realismo como postura filosófica proveniente de las ideas de Platón. Las ideas entonces poseen su propia realidad, independiente de las cosas y de nuestro pensamiento.

Si para los pitagóricos los elementos matemáticos son entidades en sí mismos, perfectos y universales, para Platón estas cualidades los convierten en ideas poseedoras de verdades absolutas, no dependen de opinión alguna, y deberán extenderse al resto de las ideas (Salgado, 2012). Es así por tanto, que la única ciencia capaz de aprehender a las ideas y traducirlas a un conocimiento verdadero, son las matemáticas, a través del uso privilegiado de la razón (Rodríguez, 1978).

Los griegos ponderaban así las matemáticas, mediante las cuales podían obtener principios generales a través de un proceso deductivo, y que no dependían solamente del manejo de sus símbolos con valores aritméticos concretos —es decir, los números—, sino también de diagramas o formas para la coparticipación de un razonamiento visual. Gracias a lo anterior es por lo que se explica que mucho de lo que desarrollaron los griegos fue la parte de las

matemáticas que conocemos como geometría, y el más importante desarrollador de la geometría en el mundo griego fue Euclides (Stewart, 2008).

1.3.3.-La perfección en la demostración lógica del teorema de Pitágoras y su implicación estética

La máxima obra de Euclides (ca. 325 a. C.-ca. 265 a. C.) fueron sus «Elementos», once volúmenes en los que sintetiza el conocimiento griego acerca de la geometría. Lo más relevante en el legado de Euclides fue el método lógico que eligió para validar los teoremas contenidos en sus «Elementos», un método de comprobación que pretendió ser riguroso e irrefutable (Kline, 1992).

El método de comprobación de Euclides establece dos conceptos principales para su aplicación: los teoremas y los axiomas. Los teoremas son enunciados que listan algunas hipótesis sobre ciertas formas geométricas y luego afirman sus consecuencias lógicas. Un ejemplo de teorema es: si un triángulo equilátero tiene los tres lados iguales, entonces los tres ángulos deben ser iguales (Stewart, 2008). Para demostrar que un teorema era correcto, Euclides realizaba entonces una demostración basada en una serie de enunciados iniciales o definiciones, que ya no podían remitirse a otra demostración. A estos enunciados se les llama axiomas, y se subdividen a su vez en nociones y postulados¹⁸. Un ejemplo de axioma es: *todos los ángulos rectos son iguales entre sí* (Stewart, 2008).

¹⁸ Las nociones o nociones comunes son verdades aplicables a cualquier ciencia, en tanto que los postulados se refieren a verdades aplicables únicamente en geometría (Kline, 1992).

Con el propósito de facilitar la comprensión de lo que significaba la idea matemática para los griegos y sus consecuencias para la noción estética de perfección como un modelo para la belleza clásica y para la ciencia misma, se analizará a continuación, de manera lógica y visual, la resolución lógica del teorema más famoso de todos, el de Pitágoras.

Euclides desarrolla este teorema en su libro I, proposición 47, estableciendo que “...en los triángulos rectángulos el cuadrado del lado que subtiende el ángulo recto es equivalente a los cuadrados de los lados que comprenden el ángulo recto...” (González, 2008, p.12). Si quisiéramos

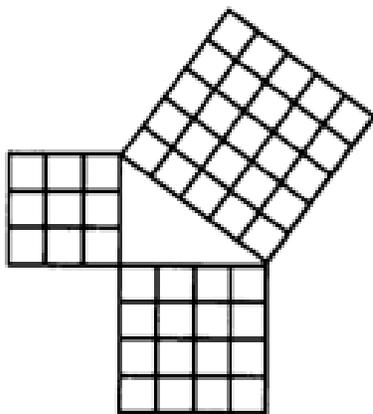


Figura 2. Resolución práctica del teorema de Pitágoras

comprobar el teorema a través de un método práctico basado en valores numéricos particulares enteros, entonces podríamos dibujar el esquema de la Fig.2, en donde los lados del triángulo midieran 5, 4 y 3 unidades respectivamente.

Si contamos el número de unidades cuadradas construidas sobre cada uno de los lados del triángulo en cuestión, obtenemos que en el lado opuesto al ángulo recto hay 25 unidades, y en los otros dos lados hay 16 y 9 unidades respectivamente, lo que comprueba la validez del teorema en el caso particular de este triángulo, pero no podríamos realizar la misma prueba al grupo completo de los triángulos rectángulos existentes para comprobar la validez general del teorema.

Desde luego esto no era del agrado ni la finalidad de los geómetras como Platón, pues lo que ellos buscaban era la esencia de los principios prácticos, la

idea de la cual partía el modelo aplicable a todos los objetos mundanos del mismo tipo. A este proceder lo conoce en la ciencia como *método deductivo* (Ruiz, 2006).

¿Cómo hizo entonces Euclides para comprobar el teorema?

Primero debía dar por sentados algunos principios comprobados con

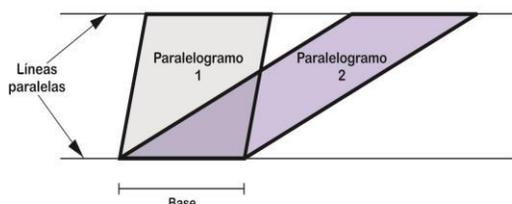


Figura 3. Proposición I.36 de los Elementos

anterioridad en el libro I de sus «Elementos», de los cuales los dos más importantes son el 36 y el 41 que se refieren a algunas propiedades de los paralelogramos.

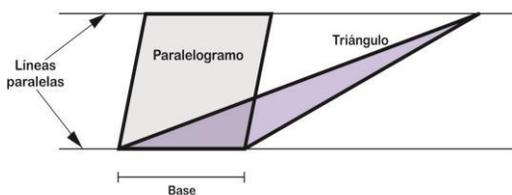


Figura 4. Proposición I.41 de los Elementos

"Los paralelogramos que tienen la misma base y están situados entre las mismas paralelas tiene la misma área", «Elementos», I.36 (González, 2008, p.114), Fig. 3.

"Si un paralelogramo tiene la misma base que un triángulo y están situados entre las mismas paralelas el área del paralelogramo es doble de la del triángulo", «Elementos», I.41 (González, 2008, p.114), Fig. 4.

Como se indica en la Fig. 5, el camino elegido por Euclides para resolver el teorema es comprobar que las dos áreas en gris oscuro sean exactamente iguales entre sí, al igual que las dos zonas sombreadas con gris claro, con lo que resultaría por lógica que la suma de las áreas de los cuadrados más chicos resultaría equivalentes al área del cuadrado mayor

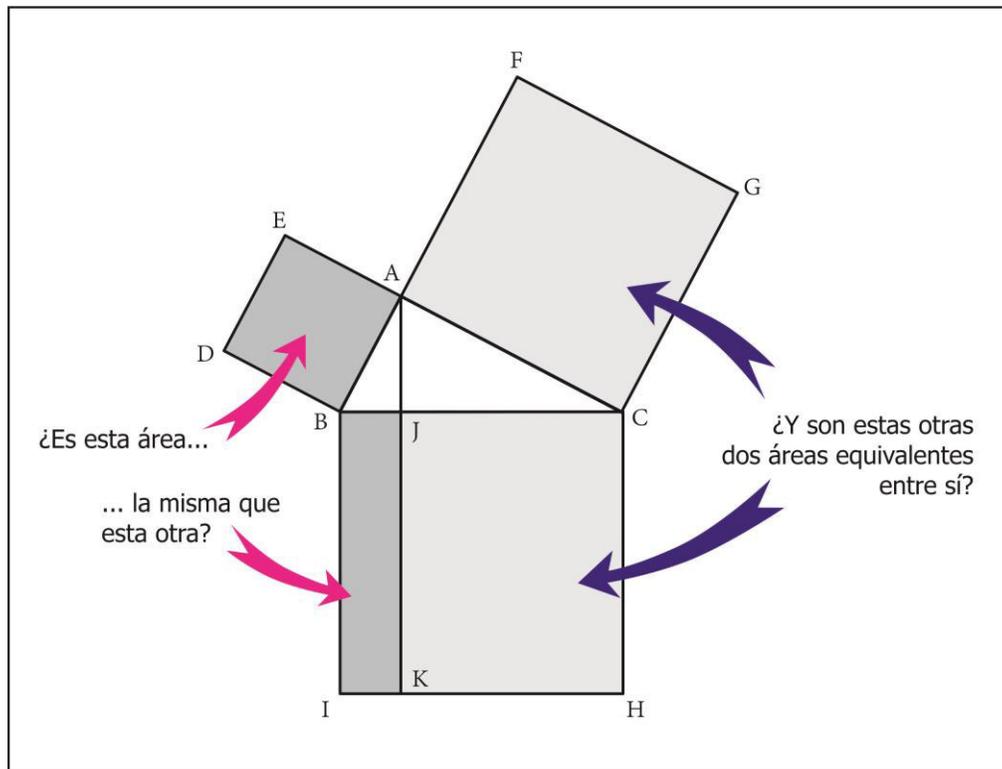


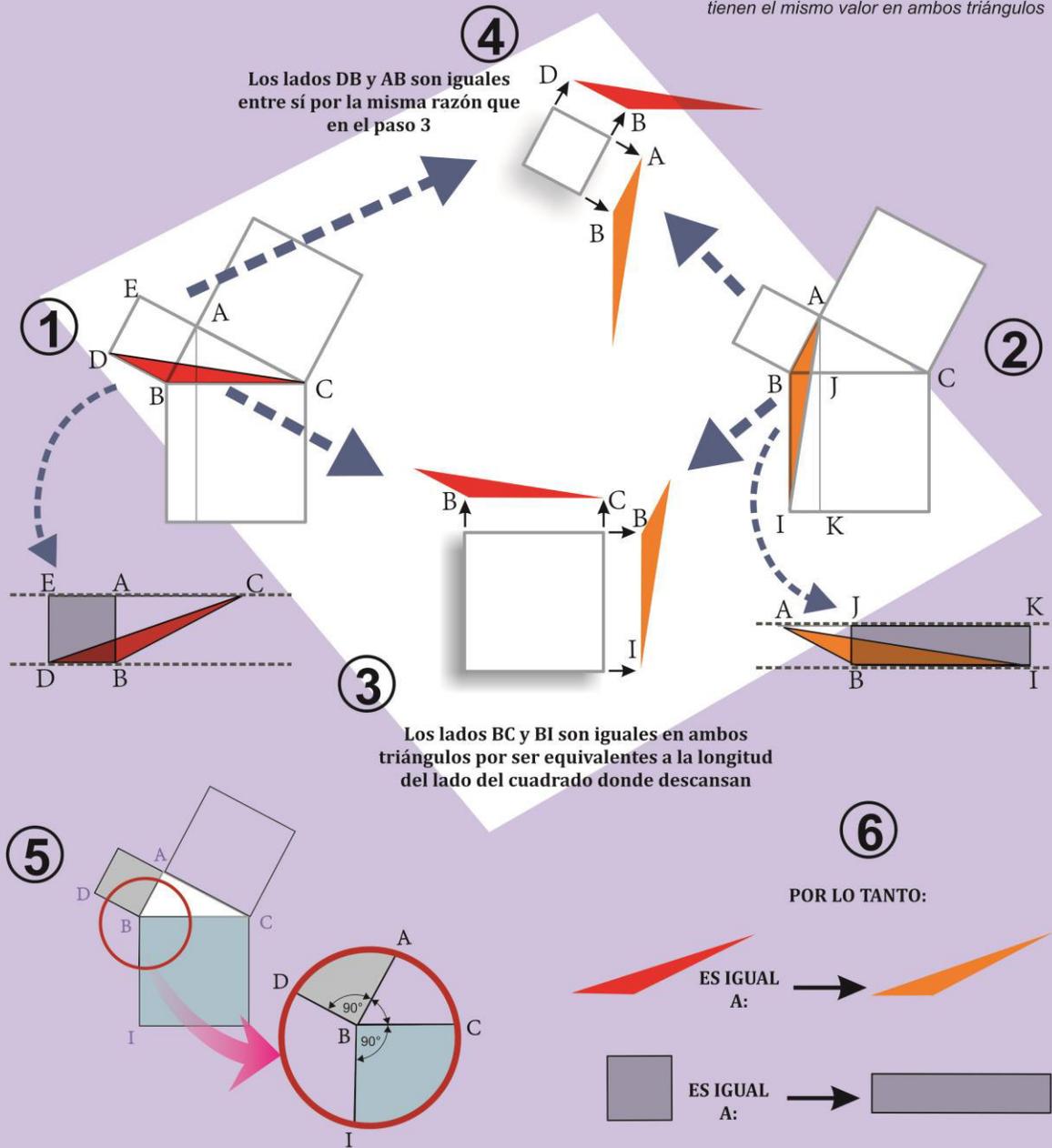
Figura 5. Estrategia de Euclides para resolver el Teorema de Pitágoras.

Una vez que Euclides ha marcado la estrategia se dedica a resolverla según el esquema mostrado en la Fig. 6 (pág. sig.). Procediendo de manera semejante, se puede demostrar de acuerdo con la Fig. 5 que las áreas marcadas en gris claro también son equivalentes y el teorema queda comprobado en términos exclusivamente geométricos.

No es posible encontrar una explicación del porqué de la perfección con la encajan esta serie de líneas y superficies para dar un resultado tan exacto, tanto más exacto mientras más se recurra a la concepción mental del teorema que a cualquiera de los mejores dibujos realizados aún hoy día con ayuda del ordenador (Penrose, 1999).

Para comprobar el teorema de Pitágoras geoméricamente, lo primero es auxiliarse mediante la construcción de los triángulos rojo y naranja bajo los principios I36 y I41 de los "Elementos" de Euclides

Después hay que comprobar que los dos triángulos son iguales, y esto será posible si dos de sus lados son iguales y el ángulo que forman estos dos lados tienen el mismo valor en ambos triángulos



El ángulo DBC es igual a un ángulo de $90^\circ +$ el ángulo ABC, y el ángulo ABI es igual a un ángulo de $90^\circ +$ el ángulo ABC, por lo tanto los ángulos DBC y ABI son iguales

Y así se comprueba la primera parte del teorema de Pitágoras

Basado en el texto de González, 2008

Figura 6. Versión esquematizada sobre la manera en que Euclides resolvió geoméricamente la comprobación al teorema de Pitágoras.

Uno de los aspectos más importantes sobre el comportamiento del Universo es que parece estar basado en las matemáticas hasta un grado de precisión extraordinario. Cuanto mejor entendemos el mundo físico, y más profundamente sondeamos en las leyes de la naturaleza, más nos parece que la realidad física se evapora hasta que nos quedamos solo con las matemáticas. (Penrose, 1999, p. 12).

La perfección en la demostración de Euclides lograda a través del procedimiento geométrico aquí ilustrado, trae consigo un concepto que atañe de manera particular al área del conocimiento estético: la idea de la belleza.

1.3.4.-Pitágoras y la objetivación de la belleza a través de nociones matemáticas como la proporción y la armonía.

Para Platón existía un solo tipo de belleza, a la cual relacionaba con la verdad que surge al cultivar el intelecto a través de la ciencia, en tanto que al trabajo de los artistas y poetas lo ubicaba en un sitio lejos de tal verdad, y por lo tanto de la belleza, como lo asienta en su libro X de la «República» (Eco, 2010).

Platón basó la parte matemática de su ciencia filosófica en las ideas de la escuela pitagórica, que establecían una visión sobre el universo en el que las cosas solo pueden existir al estar ordenadas, y este orden solo es posible al cumplirse en ellas leyes matemáticas sin las cuales no es posible la existencia de tales cosas, y a la vez son estas leyes la condición para que se manifieste en las cosas la belleza basada en la verdad. Siendo pues el orden un asunto intangible,

pero necesario para la existencia del universo, Pitágoras logra objetivarlo a través de dos cualidades sensibles: la proporción y la armonía (Eco, 2010).

Para entender cómo se pudo llevar a cabo esta objetivación, de acuerdo con el texto «El fundamento matemático de la escala musical y sus raíces pitagóricas» (Tomasini, 2007), Pitágoras descubrió en primer lugar y de manera fortuita la relación matemática que existe en las notas musicales al pasar frente al taller de un herrero donde un yunque era golpeado por varios martillos, escuchándose un sonido agradable al oído.

Esta cualidad agradable del sonido fue llamada armonía por los pitagóricos, y la proporción es el medio matemático a través del cual se vuelve accesible a la razón el principio fenoménico que la causa. La armonía puede ilustrarse gráfica y matemáticamente según el experimento que ideó Pitágoras para tratar de reproducir los sonidos agradables de los martillos que causaron su admiración.

Para ello utilizó el monocordio, un sencillo instrumento musical de cuerdas en el que podía variarse la longitud de las mismas mediante un puente móvil.

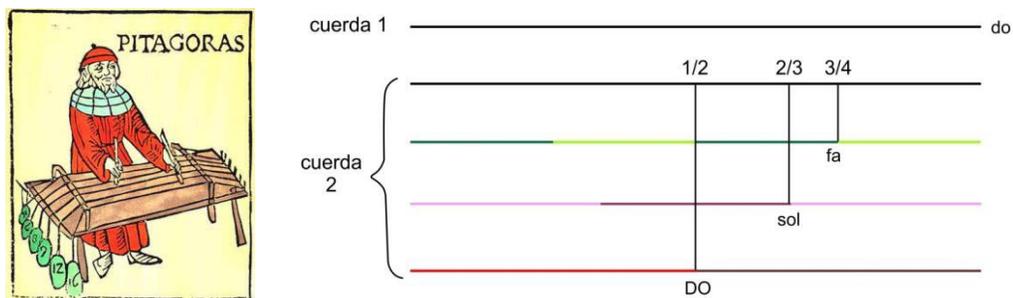


Figura 7. Objetivación de la armonía a través del monocordio

Pitágoras fue dividiendo la cuerda más larga en diversos puntos, encontrando que aquellos en donde se producían las mejores consonancias eran la parte media, o a $1/2$, a $2/3$ y a $3/4$ (Fig. 7).

El experimento consistió entonces en tocar dos cuerdas al mismo tiempo, una de ellas en su extensión completa a la que se le denominó *tónica* o *do*, y una segunda a la que se presionaba con el puente móvil en cierto punto de su extensión.

Dependiendo de dónde se presionaba a la segunda cuerda, el sonido producido conjuntamente con la primera sonaba de manera agradable, es decir, en armonía, o bien lo hacía de forma disonante y sin cualidades apreciables positivamente. Las notas que mejor resultaron para armonizar fueron la *octava* (DO), la *quinta* (sol) y la *cuarta* (fa). La nota producida por la cuerda completa (do) es llamada *tónica* por su papel como referencia a los demás valores. La principal peculiaridad de estos valores residió en su correspondencia con los de la *tetractys*, ya que $1/2$, $2/3$ y $3/4$ son valores combinados en base a cuatro números, los mismos que contiene el símbolo sagrado de los pitagóricos.

Fue a través de esta manera como Pitágoras logró concretar una demostración matemática para el concepto de armonía a través del sonido, logrando objetivar a la primera en una forma sensible y ponderable a través del uso de las proporciones, volviéndola un concepto inteligible y posibilitando a su vez su relación con la belleza mediante la generación y apreciación del sonido consonante.

Y ya que la armonía es un equilibrio entre entidades opuestas que se contraponen y se neutralizan, también se puede aplicar a otras nociones cotidianas (por ejemplo izquierdo y derecho, masculino y femenino, etc.), y con ello viene también a escena el concepto de simetría como una descripción específica a este tipo de equilibrio en tensión (Fig. 8). Es

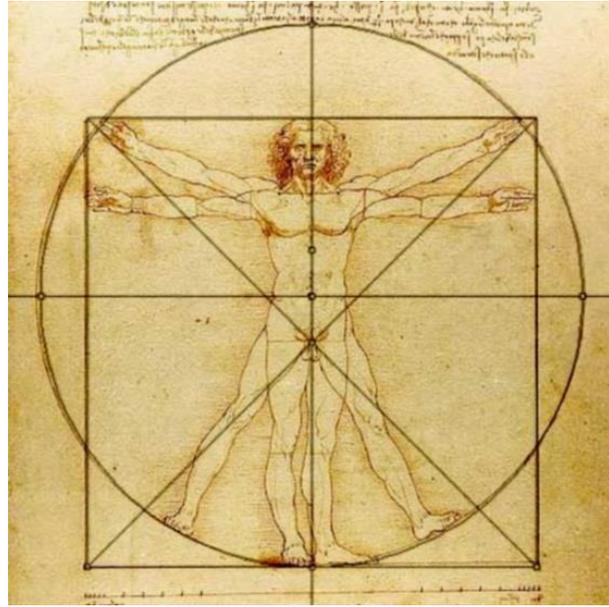


Figura 8. Proporciones humanas según Vitruvio (Siglo I a.C.), en un dibujo de Leonardo da Vinci.

pues gracias a Pitágoras que se vuelve asequible a la razón la exigencia de la simetría como canon de belleza dentro del arte de la Grecia clásica, donde ya era utilizada en la práctica artística y arquitectónica, y posteriormente se extendería al resto de la cultura occidental (Eco, 2010).

1.3.5.-La relación entre la sección áurea y el pentagrama pitagórico

Existe otro concepto geométrico y matemático de gran relevancia por su íntima relación con la idea clásica de la belleza, que al igual que otros conceptos matemáticos se atribuye a los griegos, aunque al parecer ya tenía siglos de haber sido utilizado por los egipcios (Toledo, 2011).

Se trata del número ϕ ¹⁹, como la letra griega Φ , nombrado así apenas en 1900 por el físico norteamericano Mark Barr en honor del escultor griego Fidias

¹⁹ La letra phi griega equivale a la letra “f”, y se pronuncia “fi”.

(s. V a. C.), a quien se le atribuye el friso del Partenón en Atenas. Al número *phi* se lo conoce mejor como la sección áurea y también como la divina proporción (Pérez, 2013).

Fueron primero los pitagóricos quienes, presumiblemente cautivados por las propiedades geométricas del pentágono, develaron la que luego se llamaría proporción áurea como un elemento inherente a la proporción entre sus lados y las diagonales que lo cruzan interiormente. Era tal su admiración por la capacidad del pentágono de producir relaciones entre sus lados, vértices y proporciones, que lo adoptaron como un símbolo para su escuela (Contreras, de Gante, & Macías, 2016).

Tanto el pentágono como el tema de la proporciones fueron de gran significación dentro de la filosofía platónica. En su diálogo «Timeo o de la naturaleza», Platón se dedica durante buena parte del texto a tratar de explicar tanto el aspecto trascendental como el tangible de la realidad, buscando hacerlo sobre todo a través de los números, de la búsqueda de proporciones y de los



Figura 9. Los cinco sólidos platónicos y su relación con los cuatro elementos

cuatro elementos: aire, tierra, agua y fuego (Dávila, 2004). A estos últimos los relaciona con un grupo de cuerpos geométricos conocidos como sólidos platónicos (Fig. 9), destacando de entre ellos el dodecaedro, generado a partir solamente de pentágonos y con la particularidad extrema de significar para Platón un quinto elemento o quintaesencia que le daba cohesión al resto de los elementos entre sí (Platón, *Timeo*, trad. en 1872, p. 273).

No solo eso, sino que la manera en cómo se unen los elementos exhibe, de acuerdo a Platón, una proporción que enuncia de la misma manera que Euclides, como la *extrema y media razón*, resaltando con ella la relación intrínseca que existe entre las matemáticas y el concepto de la belleza, enlazando términos como proporción, unidad y perfección:

Pero no es posible unir bien dos elementos aislados sin un tercero, ya que es necesario un vínculo en el medio que los una. El vínculo más bello es aquél que puede lograr que él mismo y los elementos por él vinculados alcancen el mayor grado posible de unidad. La proporción es la que por naturaleza realiza esto de la manera más perfecta. En efecto, cuando de tres números cualesquiera, sean enteros o cuadrados, el término medio es tal que la relación que tiene el primer extremo con él, la tiene él con el segundo, y, a la inversa, la que tiene el segundo extremo con el término medio, la tiene éste con el primero; entonces, puesto que el medio se ha convertido en principio y fin, y el principio y fin, en medio, sucederá necesariamente que así todos son lo mismo y, al convertirse en idénticos unos a otros, todos serán uno. (Platón, *Timeo*, trad. en 1872, p. 175)

La extrema y media razón y la proporción áurea comparten su origen en la relación matemática que existe entre la diagonal y el lado del pentágono, una relación que no puede expresarse mediante cifras enteras, sino solo a través de los números irracionales.

Una cosa que daban por hecha los griegos en tiempos pitagóricos era que para dos segmentos de distinta longitud debía de existir una unidad común entre ellos, pero Contreras, Gante y Macías demuestran en «El descubrimiento de la inconmensurabilidad por Hipaso de Metaponto» (2016), como fue que esta antigua creencia fue refutada, cuestión que será comentada a través de los siguientes párrafos.

Hipaso de Metaponto (500 –? a. C.) fue un seguidor pitagórico temprano, a quien según algunos autores se le atribuye el descubrimiento de la inconmensurabilidad en la relación de un lado y diagonal del pentágono, misma relación que, como se mencionó en el apartado anterior, comparte con la sección

áurea.

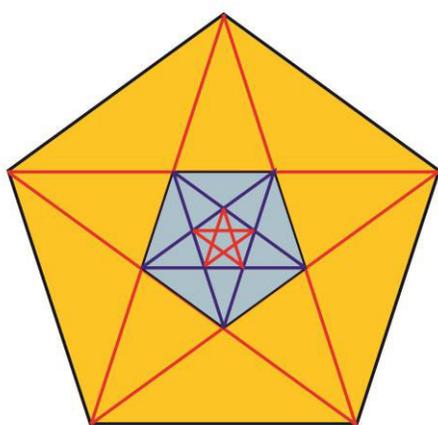


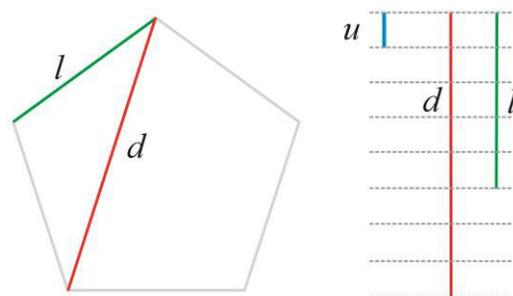
Figura 10. Rasgos de autosimilitud dentro del pentágono

Para entender el significado de lo inconmensurable dentro de la geometría griega, hay que resaltar la carencia de números como tales en los tiempos pitagóricos, así como la falta de unidades de medición equivalentes a los centímetros, milímetros o pulgadas de nuestros días.

Descubrir entonces que la proporción entre el lado y una diagonal del pentágono no compartían una unidad de medición exacta, es decir, que eran inconmensurables, no fue seguramente una labor sencilla.

A pesar de estas carencias técnicas, el trazado de la figura del pentágono ha mostrado desde siempre una hermosa cualidad aparente, que es la de lograr una reproducción perfecta de sí mismo de manera infinita al unir sus diagonales una y otra vez de forma cada vez más pequeña, pero sin cambiar nunca sus proporciones (Fig. 10). Actualmente a esto se le llama autosimilitud, y sería esta cualidad la que a la postre evidenciaría la inconmensurabilidad del pentágono.

Más importante que las propiedades evidentes del pentágono, lo era el pensamiento de la doctrina pitagórica en el sentido de que cualquier fenómeno del universo podía reducirse a números enteros. Así que la intención de Hipaso, y que era lo conducente al aceptar la doctrina pitagórica, era la de encontrar una unidad u tal que cupiera un número entero de veces tanto en un lado l como en la diagonal d es decir, que d resultase ser m veces u y l fuese n veces u , siendo m y n números naturales²⁰ (Fig. 11).



longitud de " d " = m veces la unidad " u "
 longitud de " l " = n veces la unidad " u "
 siendo m y n números enteros sin decimales

Figura 11. Suposición inicial de Hipaso de Metaponto.

²⁰Los números naturales son aquellos que sirven para designar la cantidad de elementos que posee un cierto conjunto. Para algunos autores los números naturales son los que sirven para contar, por lo que no incluyen al cero (Becerra, 2018).

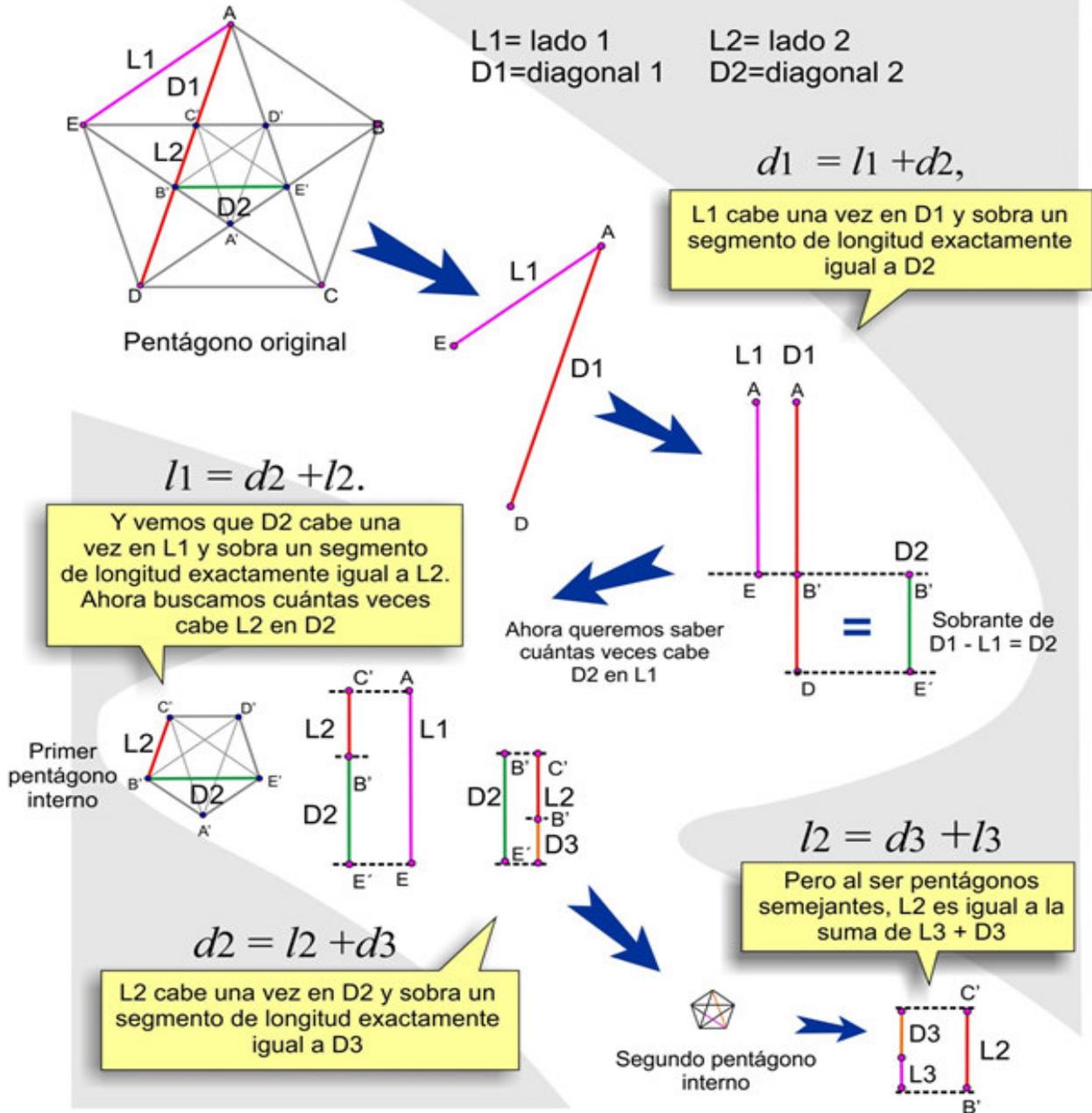
De lo que se trataba entonces era de intentar dividir a la diagonal y a uno de los lados de un pentágono inicial de manera exacta a través de un solo y único segmento más pequeño, pero como se puede comprobar a través de la esquematización de la Fig. 12 (pág. siguiente), la diagonal y el lado de un pentágono original se corresponden con exactitud con la diagonal y el lado de un primer pentágono interior, y este a su vez se corresponde con un segundo pentágono interior y así sucesivamente hasta el infinito, por lo que de existir un segmento en común con todos los pentágonos considerados, este debería ser tan infinitamente pequeño como los propios pentágonos, una posibilidad tan absurda como el tratar de concebir un proceso infinito y limitado a la vez.

Al fallar en su intento por probar la conmensurabilidad del pentágono, Hipaso inauguró una nueva forma de describir al mundo, los números irracionales²¹, y adicionalmente le dio una justificación epistemológica al número Φ o proporción áurea, pues la relación entre el lado y la diagonal de cualquier pentágono regular da como resultado este número, ya desde mucho antes considerado como mágico y una expresión matemática de la belleza.

Aunque Hipaso dedujo el número áureo a partir de la inconmensurabilidad del pentágono, Euclides logró establecer un procedimiento para trazarlo en la proposición 30 del libro VI de sus Elementos al proponer la división de un segmento en extrema y media razón, proporción idéntica a la obtenida dentro del pentágono.

²¹ Los números irracionales son aquellos que no pueden expresarse mediante el cociente de dos números naturales, como se aclarará algebraicamente en el subcapítulo siguiente.

La demostración de Hipaso para la inconmensurabilidad del pentágono



La esencia de esta demostración es que siempre habrá un lado y una diagonal menores que el anterior, cuya longitud debería ser dividida de manera exacta por un segmento que se irá reduciendo cada vez más a la par del lado y diagonal a los cuales intenta dividir, proceso que se repetirá de manera infinita y es la prueba de la inconmensurabilidad del pentágono.

Figura 12. Procedimiento para comprobar la inconmensurabilidad del pentágono.

1.3.6.-Obtención de la espiral equiángula mediante la división de un segmento en extrema y media razón

El valor de la sección áurea puede expresarse a través de números utilizando el álgebra, en un proceso que traduce la proporción de extrema y media razón a una ecuación de segundo grado. Esto se logra a partir de una recta AB que se divide mediante un punto F en otros dos segmentos (AF y FB) de tal manera que el segmento mayor es al segmento menor como toda la recta lo es al segmento mayor. Esta razón se muestra en el esquema de la Fig.13:



$$\frac{AF}{FB} = \frac{AB}{AF} \quad \text{o bien:} \quad \frac{AF}{FB} = \frac{AF+FB}{AF}$$

Figura 13. División de un segmento en extrema y media razón.

Ya que lo que se busca es el valor numérico de la proporción, este valor se puede asumir como la incógnita x en una ecuación de segundo grado cuya fórmula general se expresa como:

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Completando los valores necesarios a partir de lo que se muestra en la Fig. 12, en donde $AF = x$ y $FB = 1$ y luego de varios pasos se llega a:

$$x = \frac{-(-1) \pm \sqrt{(-1)^2 - 4(1)(-1)}}{2(1)}$$

Resolviendo:

$$x = \frac{1 \pm \sqrt{1+4}}{2} \rightarrow x = \frac{1 \pm \sqrt{5}}{2}$$

Y así se logra la solución al valor de x , que es entonces de 1.6180339885... hasta el infinito, el número áureo obtenido algebraicamente en base a las proporciones del pentágono, y que establece en la práctica que el lado del pentágono cabe 1.618 veces en su diagonal, ya que los segmentos en la extrema y media razón tienen la misma relación entre sí que la diagonal y el lado del pentágono pitagórico²². Este descubrimiento posiblemente le costó la vida a Hipaso de Metaponto al considerarse una herejía contra el precepto pitagórico de que la esencia de la realidad descansaba únicamente sobre números enteros (Contreras, Gante & Macías, 2016).

Al construir la proporción áurea en base a un cuadrado inicial y a una espiral equiángula, se logra la obtención de la *sección áurea*, que es la aplicación bidimensional de la extrema y media razón, y que es posiblemente la imagen más reconocida relacionada con el número Φ (Fig. 14).

Es muy incierto quien fue el auténtico creador de esta cautivadora espiral, pero se trata de uno de tantos métodos constructivos para los segmentos que se desea exhiban la extrema y media razón, así como la comprobación de que el rectángulo $BHGD$ adicionado al cuadrado original $ABCD$ exhibe las mismas

²² La demostración algebraica está basada en un texto de Y. Toledo (2005).

calidades de proporción que el rectángulo mayor $AHGC$, como se muestra en la parte superior de la misma Fig. 14.

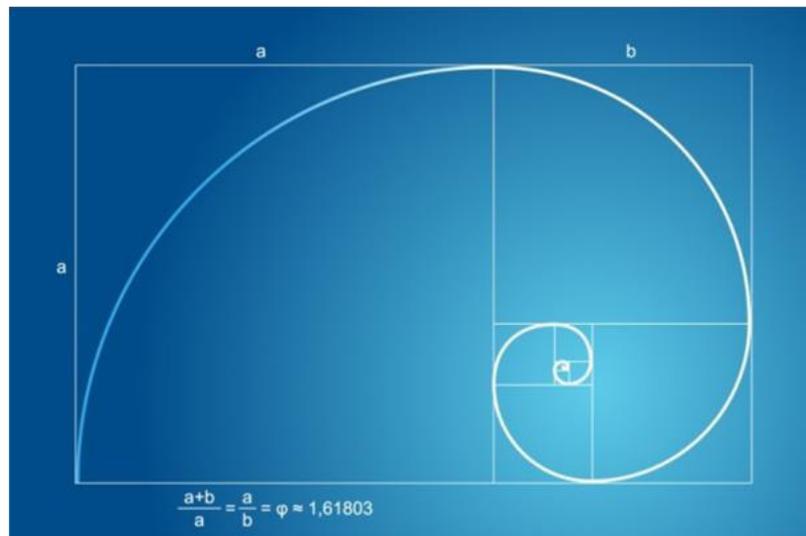
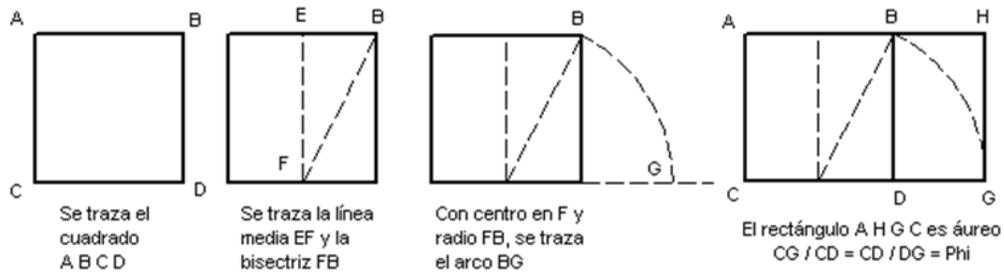


Figura 14. Obtención de la sección áurea y la curva equiángula.

En esta replicación infinita, similar a la encontrada en la figura del pentágono, reside el primer nexo entre belleza, arte y Caos buscada a lo largo del capítulo uno, como se terminará de precisar en el siguiente apartado.

1.3.7.-Explicación al atractivo estético de la proporción áurea

Ante el fenómeno de la proporción áurea cabe preguntarse acerca de las razones de su aparición como asunto de interés al intelecto humano, a lo que se ha

encontrado que surge en la propia naturaleza, a través de la estructura de moluscos, plantas y ciertos animales, impresionando de tal manera los sentidos de aquellos primeros hombres que fueron causando su interés y su deseo de reproducirlo en los objetos por él manufacturados, como es el caso de algunos edificios históricos importantes, en donde la reproducción de esta espiral equiangular, o espiral logarítmica evocaría una ley de crecimiento (Bonell, 2001).

De alguna manera esta proporción que rige a la naturaleza llegó al plano consciente del ser humano y éste comenzó a reproducirla sin estar del todo enterado de su origen ni de por qué le causaba tanto agrado.

La proporción áurea se puede encontrar aplicada en obras del pasado dentro de las relaciones de proporción entre sus distintas dimensiones físicas, formando patrones. Estos patrones de alguna manera están incluidos como parte de la composición²³ general de la obra en cuestión.

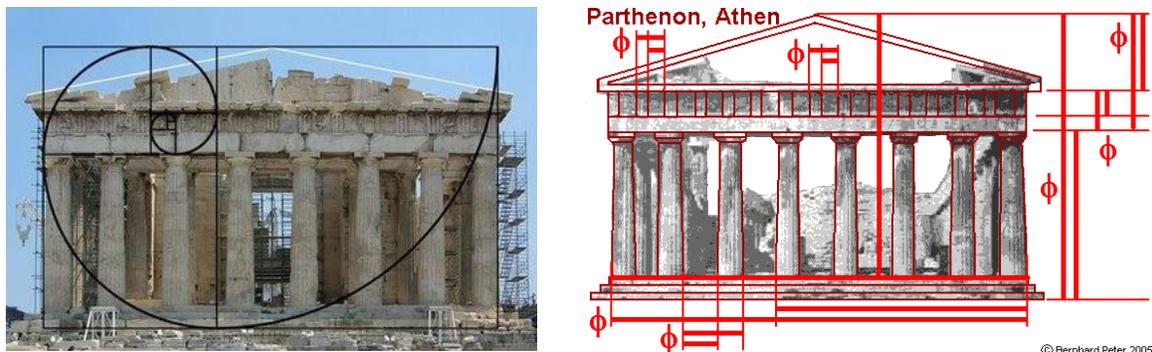


Figura 15. La proporción áurea en el Partenón de Atenas

²³La composición es el tipo de acomodo bidimensional o tridimensional que se llevó a cabo durante su manufactura de una obra, trátase de una pintura, escultura o edificio con el fin de proponer un conjunto de relaciones espaciales y de significado que le den a la obra orden y unidad a través del uso adecuado de la armonía y el equilibrio (Mc Graw Hill, 2017).

Uno de los mejores ejemplos compositivos en base a la sección áurea lo podemos ver en el Partenón en Atenas, Grecia. Sus dimensiones constructivas se muestran en la Fig.15, lo que indudablemente remite a que fueron concebidas y construidas intencionalmente a partir de la aplicación de dicha proporción en cuestión (Pérez, 2013).

En el campo de la pintura pueden incluirse una gran cantidad de obras del periodo renacentista a las que podría adjudicarse el número phi como parte de su estructura compositiva, aunque desde luego se requiere un ojo experto para evidenciarlo, pues a diferencia del Partenón, los temas pictóricos no suelen ajustarse de forma tan exacta al recorrido de las líneas marcadas por la proporción áurea, sino que más bien se adaptan de manera orgánica al espacio designado por el artista y dentro del cual pueden desenvolver su postura.

Con ello en mente puede sin embargo plantearse una serie de posibles acomodos que el artista pudo seguir durante la realización de su obra, que sin lugar a dudas respondieron a una búsqueda de la belleza a través del uso de pautas geométricas.

Como conclusión al tema del aporte griego dentro de las matemáticas y el arte es necesario destacar que tanto el método para comprobar la inconmensurabilidad del pentágono como el usado para la obtención de la proporción áurea, exhiben la propiedad geométrica de ciertas figuras de replicarse con exactitud dentro de sí mismas de manera infinita, lo que los relaciona con el Caos a través de la autosimilitud propia de los fractales. Esta particularidad

geométrica y el propio tema de los fractales serán aclarados a partir del subcapítulo 1.6.

1.4.- El racionalismo y la geometría analítica de Descartes rompen con el paradigma de la geometría euclidiana

Hasta este punto se ha descrito la relación que los griegos establecieron entre el concepto clásico para la belleza, el arte y las matemáticas, destacando la perfección como una propiedad en común para los tres casos.

Esta concepción griega dominó a la cultura occidental por un extenso periodo de tiempo, por lo que la ruta hacia el descubrimiento del Caos permaneció más o menos sin cambio desde el Realismo de Platón, hasta los siglos XVII y XVIII, periodo que marca el inicio del auge de la ciencia como un lugar común para el genio de la época en Europa, y donde se consolida una segunda postura filosófica respecto a la naturaleza ontológica de las matemáticas.

Esta postura, contraria al Realismo de Platón, establece a las matemáticas como una creación de la mente. A esta postura se le conoce como *idealismo*, *subjetivismo* (Harada, 2005), o más comúnmente como *racionalismo*.

Se puede considerar a Rene Descartes (1596-1650) como el primer filósofo moderno que trabajó una teoría del conocimiento, en donde utilizó la analogía con respecto a una máquina, que al ser desarmada permite mostrar cómo funciona para luego plantear su matematización, lo mismo que una ecuación que se descompone en sus factores para entender los distintos aspectos que la integran (Araya et. al., 2007).

Basándose en esta analogía, Descartes describe que el hombre solo puede ser capaz de entender aquello que él mismo construye, pero además reafirmó la separación entre el pensamiento y el mundo material a través del legendario *pienso, luego existo*, asignándole de esta manera un papel activo a la mente en la conformación de su propia realidad (Araya, Alfaro & Andonegui, 2007).

Descartes introdujo el término racionalismo en su «Discurso del método», a través del cual consideró al Universo como un todo organizado o Cosmos, en contraposición a todo aquello desorganizado o caos. Las herramientas del racionalismo para simplificar el estudio de cualquier problema fueron: a) la *separabilidad*: descomponer al todo en partes más simples), b) el *determinismo*: teniendo información del estado y las leyes que rigen a un objeto es posible pronosticar su estado futuro y c) la *claridad*: es posible capturar a la realidad mediante la observación y el método científico. De esta manera Descartes desarticuló al objeto del sujeto y a la filosofía de la ciencia (Laguna 2017).

A Descartes se le debe también la revolucionaria construcción y representación de las figuras geométricas de forma algebraica a través de un sistema de coordenadas y líneas ubicadas en un plano —el plano cartesiano—, sistema de representación que aún hoy se utiliza y se aplica en el campo de la geometría analítica. Debido a sus contribuciones, Descartes comienza a socavar el hasta entonces inquebrantable paradigma de la geometría euclidiana, trasladándola a un plano de representación y solución algebraica y viceversa, rompiendo con lo que era aceptado hasta entonces sobre las verdades geométricas, de que para una problematización específica (lo óptico, el Ser), solo

había una solución posible (lo ontológico, la manifestación del Ser). Con la llegada de la geometría analítica el Ser (la geometría) tiene la posibilidad de manifestarse en más de una manera (Araya et al., 2007).

El racionalismo también puede caracterizarse por considerar que los enunciados matemáticos se basan en las intuiciones puras a priori del tiempo y el espacio, sin las cuales no sería posible percibir cualquier otro objeto de nuestra realidad; son una condición para la posibilidad de que la percepción suceda y son por lo tanto, innatas (Araya et al., 2007).

Los distintos aportes de personajes como Descartes lograron socavar de a poco la hegemonía de la filosofía como rectora del conocimiento, propiciando el desarrollo de las ciencias en campos tradicionalmente considerados como humanísticos, lo que a la postre dio pie a la creación de nuevas herramientas epistemológicas como la psicología, la antropología y la semiótica (Perniola, 2001).

Asimismo, se fue conformando la inevitable confrontación de saberes típica del siglo XX, en donde incluso el determinismo sufre su más grande revés al admitirse que no toda la realidad está sujeta a leyes factibles de ser calculadas y ordenadas por el conocimiento humano. Esta revelación será en lo futuro el germen para otro nuevo campo de estudio que será conocido como la teoría del Caos, y que hasta hace no mucho fue asunto exclusivo de debate filosófico entre físicos y matemáticos, dejando al margen a los propios filósofos (Lejeune, 2012).

1.5.-Orígenes y epistemología de la ciencia del Caos

1.5.1.-Del caos mítico al Caos científico

Para comprender cómo se mezclaron el concepto común de caos como expresión maximizada de desorden y la ciencia del Caos como el orden subyacente dentro de comportamientos aparentemente impredecibles, es necesario revisar la evolución de ambos términos a partir de las primeras menciones históricas disponibles, lo que se hará de acuerdo al esquema mostrado en la Fig. 16.

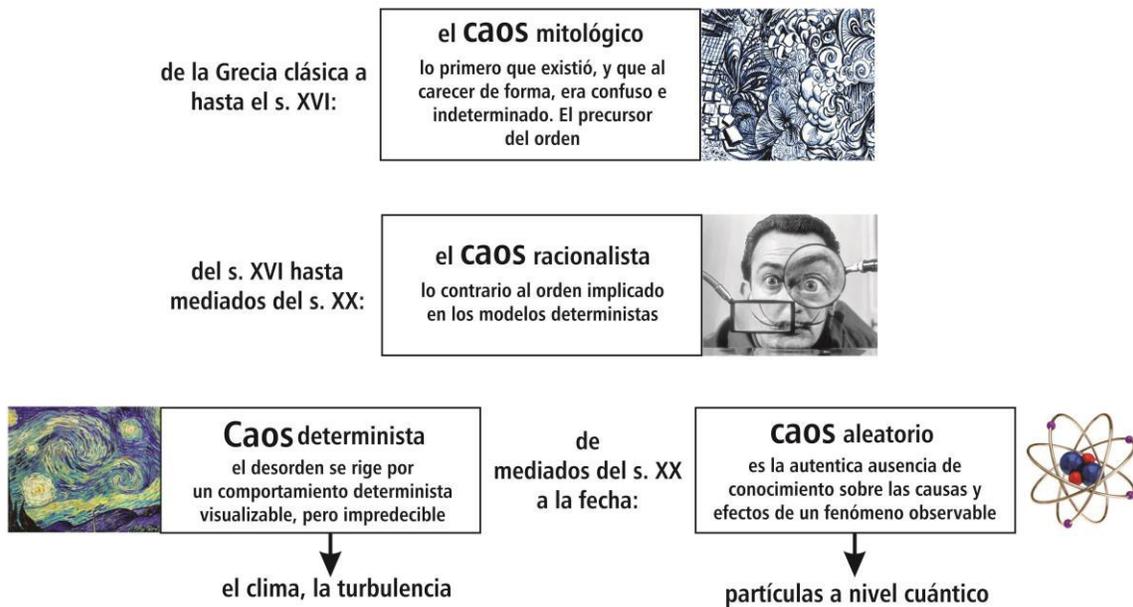


Figura 16. Evolución histórica del término "caos"

El caos tiene un pasado tan antiguo como la humanidad misma, ya que aparecen referencias sobre él desde los principios mismos de la civilización en distintas partes del mundo (Toledo, 2011). De esta concepción arquetípica, podemos rescatar su etimología griega, que se establece como $\chi\acute{\alpha}\omicron\varsigma$ *cháos*; 'abertura', 'agujero', aunque estos significados representan solo una aproximación

vaga con el concepto abstracto relativo a la formación del mundo y para el cual no tenían los griegos una palabra específica (Centeno, 2014).

En las civilizaciones egipcia y mesopotámica, el caos tuvo una connotación acuática primigenia, misma noción que retomará el poeta griego Hesíodo (~s. VII a. de C.) en las «Teogonías», obra en la que recoge el gran cúmulo de relatos de la tradición oral que impregnaban la mitología de su tiempo, dándoles un orden y una estructura que es la que conocemos al día de hoy (Toledo, 2011).

En las «Teogonías», Hesíodo nos ilustra sobre el origen del cosmos, atribuyéndole al caos la particularidad de ser lo primero que existió. Este caos consistiría en una materia indiferenciada divina, en donde todo lo que había de ser se encontraba en un estado de latencia, y por ello carecía de cualquier forma, era confuso e indeterminado.

Por otro lado Hesíodo caracteriza al caos también por su naturaleza oscura y la instala en el *Érebo*, el lugar de los muertos y también en la *Negra Noche*, o la divinidad de la noche, y por último al *Tártaro* o inframundo, un lugar horripilante bajo la tierra, un abismo en el que se tarda más de un año en caer hasta el fondo.

De los mitos inscritos en las «Teogonías» de Hesíodo, el concepto de caos se fue amoldando poco a poco dentro del plano de lo filosófico, que a diferencia de lo mitológico pretendía explicar el mundo mediante el razonamiento, incluyendo todo aquello que se percibe como constitutivo de la realidad. A partir de los griegos, la cultura occidental asoció entonces al caos como aquello sin forma, sin

orden y sin definición, todavía en una alusión clara al caos hesiódico (Almarza, 2002).

Si existe un concepto del caos que comience a separarse definitivamente de la mitología griega, es el que proviene del poeta y filósofo romano Lucrecio (c. 99 a. C-c. 55 a. C) en su única e imponente obra «*De rerum natura*», en donde establece al caos como un estado inicial del universo y donde impera el desorden tanto en la materia como en la energía a través de dos mecanismos: cataratas de átomos que caen en trayectorias paralelas y la nube caótica, en donde la materia colisiona constantemente al azar (Martínez & Buladjich, 1993). Es así que Lucrecio recurre al caos como un medio constructor.

Fue hasta los siglos XVI y XVII que el caos deviene de la idea de precursor del orden a aquello contrario al orden, y esto se dio por las necesidades propias del racionalismo imperante, en donde la ciencia ocasionalmente se encontraba frente a situaciones a las que le era imposible asignar un modelo de solución de acuerdo con el conocimiento disponible, y que desafiaban al orden universal al que aspiraba el modelo científico (Almarza, 2002).

Una referencia a esta concepción proviene del célebre filósofo alemán Immanuel Kant (1724-1804) en su obra «*Historia natural y teoría natural del cielo*», alude al caos como aquello que aconteció luego de la nada en el universo primigenio y lo caracterizó como un estado de la naturaleza informe y tan bruto como era posible (Kant, 1755).

Las ideas de Kant se conjuntaron con las de otro genio, el físico Pierre-

Simon Laplace (1749-1827), para así conformar lo que se conoce como la «Hipótesis nebular Kant-Laplace», en la que se describe de manera cualitativa la forma en que las fuerzas gravitatorias sacaron al universo de su estado caótico inicial. En suma, esta hipótesis es la primera de la que se tiene constancia en donde no se alude a la intervención de entes divinos como parte de la misma, pero que a su vez sostiene que la perfección en el mecanismo de la evolución posterior del Universo no pudo deberse a un accidente debido al azar, sino a las fuerzas propias de la Naturaleza (Moreno, 2004).

Actualmente se considera que el universo entero nació a partir de una gran explosión, teoría ampliamente conocida como *Big-Bang* y sobre la cual no se abundará para evitar una desviación innecesaria sobre los ejes temáticos de esta investigación. Sin embargo vale la pena mencionar que continua siendo tema de debate hoy día si es que la expansión del universo ocurrió a través de una dinámica caótica, aun cuando la explosión primigenia que le dio lugar no haya sido así.

En otras palabras, existe la posibilidad de lo primero que existió al inicio del universo no haya sido caos, sino una explosión perfectamente ordenada que inmediatamente después devino en un caos en expansión (Moskowitz, 2010).

1.5.2-Algunas consideraciones generales sobre el azar y su filiación con otros términos relacionados

Ya que existen varios términos para nombrar y entender la acción del azar en la experiencia cotidiana, y algunos otros para describir su interacción con el Caos y

el arte, vale la pena abrir un paréntesis para acotar algunos de estos términos, pues es importante definir su relación con otros muy parecidos y deslindar a aquellos que divergen de la postura asumida en esta investigación. El esquema de la Fig. 17 muestra la estructura general seguida en esta revisión.

El origen etimológico del azar remite a la palabra árabe *zahr*, ‘flores’, que era el valor máximo en el juego de dados de esta región del medio oriente. Es por esto que terminó dándosele a esta palabra un sentido relacionado con la suerte, probabilidad, fortuna, imprevisibilidad o casualidad (de la Orden, 2015)

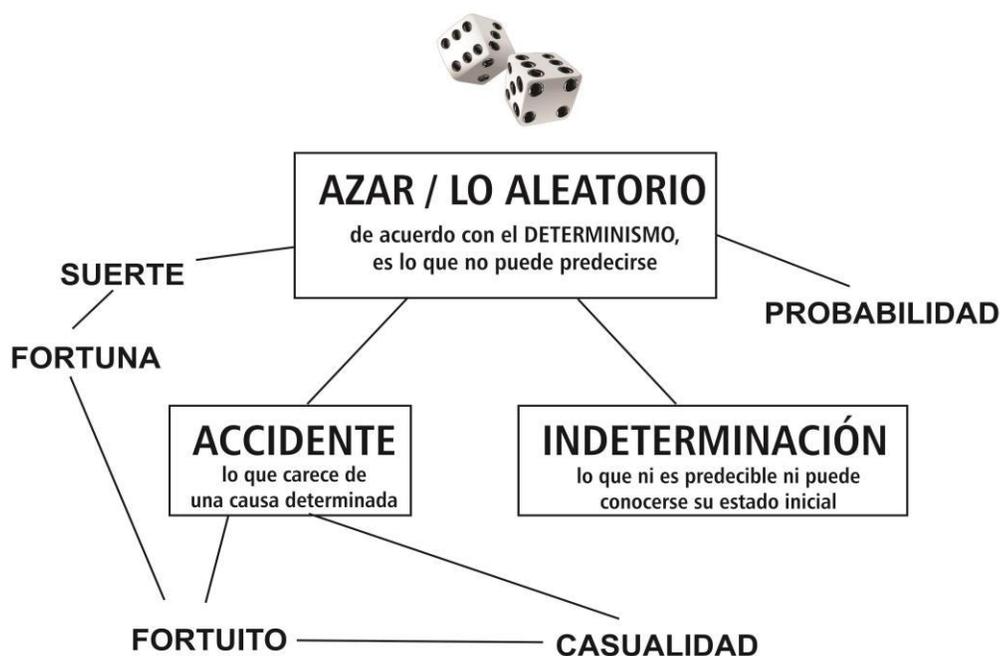


Figura 17. Relación del azar con otros conceptos semejantes. Se encierran en un cuadrado los términos más afines con la *praxis* del arte.

Según Abbagnano (1993), una manera de definir al azar es la insuficiencia de probabilidades en la previsión. Abbagnano completa su argumentación en el sentido de que el azar se trata de un evento sujeto a causalidad como cualquier otro, solo que resulta complicado de prever por depender de más de una causa.

Complementando lo anterior y aludiendo a la versión científica, el artista y filósofo contemporáneo Denis Lejeune (2012) considera que el azar sí existe, pero como una propiedad objetiva, real e interna exclusiva de ciertos sistemas y objetos, y cuya existencia se ha comprobado solo hasta hace relativamente pocos años a través de los descubrimientos de la mecánica cuántica. De esta manera resulta que la verdadera naturaleza ontológica del azar es tan inasequible que solo puede suponerse que podría ser develada por alguna generación venidera.

En lo referente al término *aleatorio*, este proviene del término latino *alea*, 'dado', 'suerte' (Serrano, 2000), por lo que al igual que el azar, también se le vincula a lo imprevisto, a lo que no se puede predecir.

Al término *accidente* Aristóteles lo relaciona con el azar como uno de sus rasgos distintivos, en el sentido de que es aquello que carece de una causa determinada o esencial que constituya su razón de ser o su fundamentación explicativa (de los Rios Gutiérrez, 2006).

Cuando se habla de la condición impredecible de un evento aleatorio, se refiere a que al menos el estado inicial de dicho evento es conocido, aun si fuera aproximadamente, pero del cual no es posible conocer su evolución a futuro. Más cuando se habla de un evento *indeterminado*, significa que este no se puede predecir y que además no es posible conocer su estado inicial (Lejeune, 2012).

El término *fortuito* proviene del latín *fortuitus*; de *fors*, *fortis*, 'suerte', 'casualidad', lo que sucede por casualidad y sin designio previo. Lo fortuito y lo accidental se relacionan en el sentido de que lo fortuito es algo que sucede fuera

de lo verosímil, como cuando un rayo incendia una casa: es algo que no podía preverse. En cambio, el accidente es algo que sí pudo haberse previsto, como el tropezar un caballo en una carrera de obstáculos (Olive, 1843).

Por último, está el término casualidad, del latín *casualitas*; de *casualis*, ‘accidental’, ‘fortuito’, a su vez del sustantivo *casus-us*, ‘caída’, ‘ocurrencia’, ‘accidente’. La *casualitas* es una voz que fue utilizada por los escolásticos para recoger el principio del azar aristotélico, que de esta forma significa conjunto de circunstancias azarosas que no se pueden prever ni evitar.²⁴

1.5.3.-Aparición de la ciencia determinista y su postura respecto del azar y el caos

De manera implícita, la realidad visible del Universo aloja dentro de sí el principio de la causalidad, que en síntesis consiste en la relación entre dos cosas, en virtud de la cual la segunda es unívocamente previsible a partir de la primera. Se le atribuye a Platón la noción de *causa* como el principio por el cual una cosa es, mientras que por su parte es Aristóteles (384-322 a.C.) quien fundamenta la ciencia y el conocimiento en el darse cuenta de las causas, sin lo cual los dos primeros no son nada (Abbagnano, 1993).

Aristóteles actúa en consecuencia con esta idea al incluir dentro de sus escritos una mención importante acerca del azar y el accidente, en el sentido de afirmar de que en ambos casos se trata de instancias contrarias a la razón, inestables e indeterminadas, por lo que esta argumentación del así llamado

²⁴ Etimologias.dechile.net (2018), etimología de casualidad, recuperado de <http://etimologias.dechile.net/?casualidad>

*estagirita*²⁵ de alguna manera influye a que, tanto el azar como lo indeterminado, al oponerse a cualquier predicción se vuelvan inviables para formar parte del *corpus* de la ciencia (de los Rios Gutiérrez, 2006).

Más tarde el concepto de ciencia establecido por Aristóteles y que marginó a lo aleatorio de sus intereses cambiaría de piel a través de los años al evolucionar hacia el *Determinismo*.

Esta postura filosófica asumió el estereotipo de la ciencia desde mediados del s. XVII, al ser practicada por personajes como Galileo Galilei, Kepler y Newton, considerados como los creadores de la ciencia contemporánea por su fundamentación en el método científico (Morales, 2004).

El Determinismo puede describirse como un estado de las cosas en donde para dos estados sucesivos *S1* y *S2*, *S2* es determinado por *S1*, o bien *S2* evoluciona de forma lógica y necesaria a partir de *S1*. De esta manera el efecto está originado totalmente a partir de la causa (Lejeunne, 2012). En base a lo anterior, puede decirse que el Determinismo es una postura científica y filosófica que adopta al principio de causalidad como su distintivo particular (Abbagnano, 2007).

De igual forma, para el Determinismo el pasado solo puede dar lugar al presente, y este a su vez a un único futuro posible, de manera que en teoría, con el suficiente conocimiento de las leyes naturales sería posible retroceder en el tiempo hasta el punto en el pasado donde todo tuvo su origen. Esta conclusión

²⁵ Aristóteles nació en Estagira (Macedonia), razón a la cual debe su sobrenombre (Salgado, 2012).

toma forma en palabras de Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), científico francés que afirmó en su «Essai philosophique» lo siguiente:

Debemos considerar el estado presente del universo como el efecto de su estado anterior y como la causa del que sigue. Una inteligencia que, por un momento dado, conociera todas las fuerzas mediante las que la naturaleza es animada y la situación respectiva de los seres que la componen, si fuera lo suficientemente grande como para someter estos datos al análisis, abarcaría en la misma fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes en el universo y los del átomo más leve; nada sería incierto para ella, y el futuro, como el pasado, estaría presente en sus ojos (citado por Lejeunne, 2012 p.28)

A esta supuesta inteligencia se le conoce también como el demonio de Laplace, y perduró mucho tiempo como parte del paradigma de la ciencia moderna.

Allí donde los experimentos y fórmulas no cuadraban con las previsiones, imperaba el caos como una versión potenciada de desorden confuso y como un límite al conocimiento racional, considerándolo más bien como una máscara que ocultaba la ignorancia sobre el sistema estudiado (Lejeunne, 2012).

Poco a poco este punto de vista fue cambiando en el sentido de que todo comportamiento aleatorio estaba conformado por una multitud de efectos sumados que daban la apariencia de no estar sometidos bajo ninguna ley que reflejara un orden. Este comportamiento ocurría entonces en sistemas muy grandes y con un alto rango de factores variables cuya descripción quedaba fuera del alcance de las

capacidades humanas, por lo que desde este punto de vista lo aleatorio pertenecía al terreno de lo complejo²⁶ (Martínez & Buladjich, 1993).

El primer intento por develar los mecanismos de lo aleatorio surgiría a través de Blas Pascal (1623-1662), científico y filósofo francés, quien en 1654 inventó su *aleae Geometry*²⁷ con el propósito de ahondar teóricamente dentro de las probabilidades que existen en los juegos de azar. De esta manera Pascal dotó de elementos matemáticos a un campo de divertimento donde anteriormente todo se reducía a tener buena o mala fortuna (Lejeune, 2012).

No fue sino hasta fines del s. XVIII cuando la teoría de las probabilidades incursionó dentro del pensamiento científico, configurando de esta manera los dos paradigmas aceptados para el modelaje matemático de los fenómenos naturales; por un lado el uso de ecuaciones diferenciales, que a nivel teórico determinaban la evolución del universo y por el otro lado el análisis estadístico para la dinámica en sistemas complejos, que permitía una aproximación, si bien burda, a este tipo de fenómenos. Fue necesario el trabajo del físico James Clark Maxwell (1831-1879) para utilizar adecuadamente la cuestión probabilística en la física como parte de la Teoría Cinética de los Gases, desarrollada entre 1858 y 1868, poco más de 200 años después de la *aleae Geometry* de Pascal (Martínez & Buladjich, 1993)

²⁶ De alguna manera lo complejo y el Caos se relacionan epistemológicamente al complementarse para describir aquellas situaciones donde existe un grupo de elementos heterogéneos asociados y no separables, unidos mediante un entrelazado de acciones, retroacciones, determinismos y azares. Estas características desafían la relación predecible entre causas y efectos, por lo que a este tipo de conocimiento se lo considera distinto a lo que se denomina determinismo (Laguna, 2016).

²⁷ En español actualmente se le conoce como *Distribución geométrica o de Pascal*.

Así las cosas, el azar y lo aleatorio continuaron fortaleciendo su importancia en nuevos campos de la ciencia del siglo XX, tal como ocurrió en la mecánica cuántica, donde las leyes newtonianas perdieron su sentido Laplaciano al formularse principios solo aplicables al mundo subatómico, de manera que su predictibilidad e incluso su observación directa resultaron ser definitivamente imposibles de realizar, y son sujetos en cambio a comportamientos genuinamente aleatorios y casi inaccesibles a una comprensión en términos de la realidad cotidiana.

Como pudo verse claramente, debido a su oposición con lo predecible, el azar es un concepto que fue remitido durante mucho tiempo a una categoría de eventos que no participaban como una parte esencial del Ser ni como elemento constitutivo de la ciencia, por lo que en el plano epistemológico, se ubica en un nicho muy distinto al de lo caótico.

Lo que sucede en realidad es que el Caos a veces se enmascara como si se tratara de azar, pero en el fondo ambas cosas se ubican en polos opuestos (Stewart, 2012).

1.5.4.-La *inspiración* dentro de la *praxis* del arte, objetivada a través de la acción del azar y el accidente

De acuerdo a Lejeunne en «The radical use of chance in 20th century art» (2012), el arte y el azar no solo están relacionados, sino que están necesariamente relacionados. Esta afirmación la constata al comparar la evolución del conocimiento científico y la creación de la obra artística, ya que mientras que en el

primer caso se requiere de un contexto que incluya herramientas matemáticas y conceptuales adecuadas que se han ido sumando a través del tiempo, el caso del arte es en ese sentido mucho más arbitrario. Lejeunne explica que el que sea arbitrario, no significa que la obra de arte sea creada *ex nihilo* —es decir, de la nada—, sino que a pesar de que cuenta con diversos factores que le afectan, tales como lo sociopolítico, la técnica o el legado de creadores anteriores, no son sin embargo factores que exhiban una relación causa-efecto demasiado obvia.

Lejeunne también menciona que dado el misterio de su concepción, a la obra de arte se le consideró durante mucho tiempo como una revelación divina — la *inspiración*—, que le era dada a los hombres a través del artista, pero que esta explicación fantástica puede abordarse desde un punto de vista objetivo si se considera al arte como que nace de una micro-necesidad a partir de un total ausencia de necesidad, a diferencia del conocimiento científico que sí se desarrolla en función de una necesidad. Lejeunne explica con notas a pie que la necesidad es algo que ya ocurrió y nada puede alterarlo, en cambio lo no-necesario es lo contingente en el sentido de que es algo que puede o no puede ocurrir, tal como ocurre con una obra artística en proceso. Es así como Lejeunne establece la relación de necesidad entre arte y azar.

Otro elemento relacionado con el azar y que se manifiesta en el terreno del arte es lo accidental, que de acuerdo a Thomas C. Hilde en su artículo «Intelligence, Accident, and Art as a practice» (2000), puede concebirse como aquello imprevisto que se presenta a sí mismo como una aparente contradicción hacia los fines inmediatos buscados por el artista, y cuya aparición solo puede

referenciarse dentro de los límites de la obra por ser esta la causa de su existencia. Manejado de manera adecuada, el accidente puede instrumentalizarse con propósitos creativos al encaminar respuestas dinámicas parcialmente impulsivas y fuera de la planeación original de la obra. Pero para poder manejar el accidente de manera exitosa, el artista debe poseer un tipo especial de inteligencia creativa que le permite interactuar con lo imprevisto, de tal manera que su idea original de la obra irá cambiando mientras más avanza y termina descubriendo otros fines que aquellos desde los cuales partió.

Es por eso que Hilde concuerda con lo dicho por Picasso acerca de que un cuadro no se puede concebir de antemano, sino que va modificándose mientras se hace, de acuerdo a como cambian los pensamientos, lo cual desde luego implica también la manera en que la aparición de accidentes afecta el avance general.

De acuerdo entonces a lo expresado por Lejeune y Hilde en sus respectivos textos, son el azar y el accidente quienes ocupan realmente el lugar de la inspiración a la hora de realizar la obra de arte, sin olvidar que para Lejeune, el azar aún está lejos de ser entendido en su auténtica naturaleza²⁸.

1.5.5.-El primer encuentro entre la ciencia y el Caos

Aunque el cálculo probabilístico concebido por Pascal²⁹ significó un triunfo del intelecto sobre el otrora dominio exclusivo de lo complejo, el Determinismo sufriría

²⁸ Cfr. Subcapítulo 1.5.2.

²⁹ Cfr. Subcapítulo 1.5.3.

no obstante un gran descalabro a través los resultados teóricos obtenidos por el físico y matemático Henry Poincaré (1854-1912) en respuesta al problema de los tres cuerpos también llamado modelo reducido de Hill. Este problema implica una situación idealizada en donde dos cuerpos influyen sobre un tercero, aunque este no ejerce ninguna fuerza sobre los primeros. Lo que Poincaré ya sabía era que, aunque era posible predecir el movimiento de dos cuerpos (planetas, estrellas, etc.) orbitando alrededor de un centro de gravedad común, el agregar una mota de polvo al sistema deriva en la imposibilidad de predecir la órbita de esta minúscula mota, ya que su movimiento se vuelve tan complejo que termina exhibiendo un comportamiento fuera del alcance de cualquier cálculo (Stewart, 2012).

Como consecuencia de sus resultados, Poincaré señaló que:

Puede suceder que pequeñas diferencias en las condiciones iniciales den lugar a grandes diferencias en los fenómenos finales; un pequeño error en el primero produciría un gran error en los últimos. La predicción se vuelve imposible. (Lejeunne, 2012, p.18)

Esta declaración es la primera mención aceptada en los registros de la ciencia como auténticamente precursora de la teoría del Caos.

Desgraciadamente para Poincaré, las posibilidades tecnológicas de su tiempo no le permitieron entrar en detalles finos acerca de sus descubrimientos acerca de las órbitas con propiedades no-lineales, como las que se generan en el problema de los tres cuerpos, a las que solo pudo describir como una especie de monstruos matemáticos (Stewart, 2012).

Para seguir adelante con el capítulo, resulta indispensable integrar un glosario mínimo con los términos científicos que se utilizarán en el resto de este trabajo de investigación cada vez que se mencione el tema del Caos, explicándolo a través de las interpretaciones simplificadas de los expertos en el tema.

Tomando entonces como ejemplo el problema de los tres cuerpos investigado por Poincaré, el sistema no es otra cosa que el objeto o proceso sobre el que se lleva a cabo la investigación (Carmona, 2003), esto es, las trayectorias de tres cuerpos interactuando entre sí.

Para poder configurarlo, a este sistema se le enmarca dentro de un espacio de fases, el cual consiste en el trazado de un mapa a través de un espacio matemático de n dimensiones, donde cada dimensión se refiere a cierto valor del sistema que cambia a lo largo del tiempo³⁰ (McNabb, 2004).

Estos valores se visualizan como un simple punto en cada instante que elijamos representar. El espacio de fases en conjunto con los puntos, muestran entonces la historia del sistema (Gleick, 1987), se trata de un modo de convertir la información de números a imágenes en forma de gráficas (Aguilar, Bravo, Gallegos, Cerón, & Reyes, 2009).

³⁰ El número de dimensiones a utilizar será el que se considere necesario y suficiente para poder describir satisfactoriamente al sistema, como pueden ser por ejemplo: velocidad, presión, volumen, temperatura, etc. (Martínez & Buladjich, 1993). Al mencionar n dimensiones, se refiere a que la n representa cualquier cantidad de estas, sin importar que tan alto sea el número.

La siguiente gráfica muestra un espacio de fases para el problema de los tres cuerpos realizado mediante cálculos actuales (Fig. 18), donde puede verse la evolución de dos posibles trayectorias del tercer cuerpo, y cómo al final de su recorrido las dos trayectorias son totalmente distintas entre sí al incluir tan solo una pequeña variación en el punto de origen de las mismas.

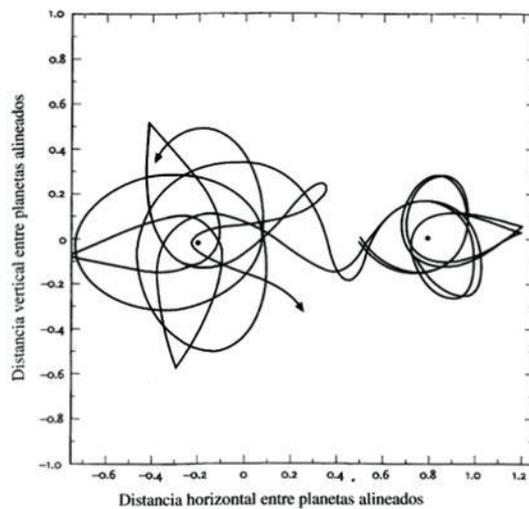


Figura 18. Ejemplo de trayectoria en un problema de los tres cuerpos

Lo que encontró Poincaré al tratar de graficar sus resultados alrededor del problema de los tres cuerpos, fue un complejo entretrejido al cual no le encontró sentido, algo a lo que llamó *enredo homoclínico* y que básicamente comprobó que la trayectoria del tercer cuerpo exhibía, a pesar de todo, un comportamiento estable de tipo determinista, solo que no podía predecirse su trayectoria a futuro por la propia naturaleza del método utilizado (Stewart, 2012).

Una tarea tan monumental como para entender el idioma de la naturaleza a través de las matemáticas requiere de dos herramientas especiales: el cálculo y las ecuaciones diferenciales.

El término ecuación deriva del latín *aequus*, 'igual' (Serrano, 2000), por lo que en principio una ecuación se trata de una igualdad, pues se trata de dos expresiones vinculadas por el signo = , solo que en el caso de una ecuación solo se verifica para ciertos valores de sus variables.

El cálculo, como la mayoría de las aplicaciones matemáticas nacidas del álgebra, utiliza ecuaciones diferenciales para desarrollar sus resultados y fue concebido por separado principalmente por Newton y Leibniz en el s. XVII. El propósito de aplicar una ecuación diferencial para el cálculo es separar los componentes de un problema en partes muy pequeñas, de tal manera que resulten manipulables matemáticamente para su resolución unitaria y al final puedan reunirse nuevamente para dar una solución global al problema tratado (Gribbin, 2006).

Si por ejemplo se trata de calcular la influencia gravitacional de una esfera, se considera como si esta estuviera dividida —diferenciada— en un número infinito de partes infinitamente pequeñas —infinitesimales—. Luego entonces se escribe una sola ecuación que describa la influencia gravitacional que ejerce uno de estos fragmentos de acuerdo con su ubicación dentro de la esfera, y finalmente se realiza una suma —integración— de la influencia compuesta de todos los elementos a partir de la aplicación de la ecuación diferencial encontrada como solución. Lo mismo aplica para el cálculo del movimiento de un objeto, aplicando en esta ocasión una ecuación para diferenciar solo uno cualquiera de los puntos de su trayectoria y luego integrando la solución para el recorrido completo del objeto estudiado (Gribbin, 2006).

Existen, sin embargo, límites para la solución de las ecuaciones diferenciales, no importa que tan bien estén planteadas en la teoría. De no ser por esto el demonio de Laplace realmente existiría, y sería posible conocer todo el estado del universo en cualquier instante.

Una de las características para que una ecuación diferencial pueda resolverse mediante un método *analítico* —es decir, que sus resultados infinitesimales puedan sumarse— es que sea lineal, o sea que sus variables crezcan o decrezcan de manera proporcional, como podría ser el cálculo de la trayectoria de un proyectil en donde su velocidad y distancia respecto al suelo disminuyen de manera constante. Pero no todos los procesos naturales tienen una tasa de cambio constante, sino que pueden variar abruptamente de un instante a otro, lo que conduce a que la ecuación diferencial que describa a este tipo de comportamiento se le agrega la particularidad de ser *no-lineal*, y este tipo de ecuaciones son por lo general insolubles (Gleick, 1987).

A este género de ecuaciones pertenece el modelado de las órbitas en un problema de tres cuerpos como el que intentó resolver Poincaré.

Aunque al final Poincaré declaró insoluble el problema, pudo vislumbrar un fantástico entretejido de trayectorias, tan complejo que ni siquiera intentó dibujarlo, pero que gracias a la ayuda de una computadora al día de hoy puede observarse gráficamente.

Para Poincaré resultó imposible ir más allá de lo que le permitía la tecnología en su tiempo, sin embargo dejó como legado el análisis cualitativo para

las ecuaciones diferenciales y la topología, ambas poderosas herramientas para los futuros descubridores del Caos.³¹

1.5.6.-Edward Lorenz y el clima: nacimiento de la teoría del Caos

El encuentro ya inaplazable entre la ciencia determinista y una nueva ciencia alrededor del caos sucedió en 1963, guiado por las investigaciones del meteorólogo Edward Lorenz acerca del comportamiento del clima (Stewart, 2012).

En su ensayo «*Deterministic Nonperiodic Flow*», publicado ese año en una revista sobre meteorología, Lorenz vertió los resultados de sus experimentos teórico-matemáticos acerca del clima, basándose en un modelo creado a partir de las tres ecuaciones:

$$\frac{dx}{dt} = -10x + 10y$$

$$\frac{dy}{dt} = 28x - y - xy$$

$$\frac{dz}{dt} = -\frac{8}{3}z + xy$$

Estas tres ecuaciones son una versión apenas reconocible de un fenómeno llamado *convección*, en donde la diferencia de calor entre dos superficies paralelas provoca que el fluido entre ellas gire a manera de rodillos. Se trata de ecuaciones no-lineales, así que solucionarlas entraña, como a la mayoría de las

³¹ Estas dos herramientas lo que hacen es estudiar de forma cualitativa las formas o propiedades topológicas de las curvas obtenidas como solución en un sistema de ecuaciones diferenciales (Martínez & Buladjich, 1993)

ecuaciones no-lineales, aplicarles un método de solución por aproximación, lo cual resulta hasta la fecha una manera aceptable de encarar este tipo de modelos matemáticos (Stewart, 2012).

Un símil más tangible de la convección y que también pueden describir las tres ecuaciones de Lorenz es la simulación de una noria (Fig. 19), en donde el giro de los *cangilones*³² —que están agujerados— depende de la cantidad de agua

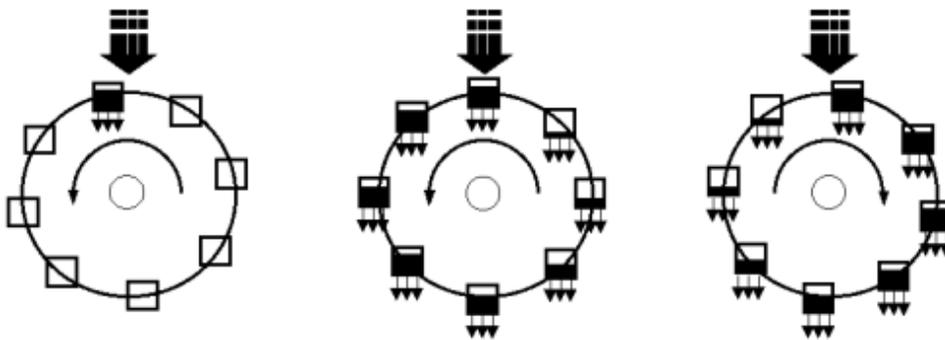


Figura 19. Esquema del giro errático en una noria con agujeros en sus cangilones

que se les deje caer desde la parte superior de la noria (Gleick, 1987). La noria girará hacia un lado u otro sin que pueda predecirse de antemano la dirección del giro.

Los valores numéricos incluidos en las tres ecuaciones de Lorenz muestran a partir de qué condiciones de temperatura y viscosidad del sistema la solución se vuelve no-lineal, de la misma forma en que demasiada agua sobre la noria provoca cambios repentinos en el giro de los cangilones de manera errática.

En todo caso, Lorenz basó su modelado en un intento de hallar la relación entre la aperiodicidad del clima y la imposibilidad de los meteorólogos de

³² El cangilón es el recipiente que transporta el agua en una noria.

descifrarla³³. Si Lorenz encontraba una pizca de predictibilidad en los rasgos aparentemente aleatorios del comportamiento de su modelo matemático, entonces tal vez estaría en posibilidad de entender mejor los factores de la evolución del clima real (Stewart, 2012).

Dentro de lo inaccesible e impráctico que resultaría en esta investigación tratar de entender la manera de resolver este sistema de ecuaciones, solo queda claro que, una vez obtenida la primera solución a las tres ecuaciones se cambian los valores iniciales por los valores obtenidos como solución, y así sucesivamente hasta los límites que se quieran imponer al sistema. A esta manera de proceder se le llama *iteración* (M. Ramírez, 2010).

Lorenz contaba con una de las primeras computadoras disponibles para auxiliarse en la resolución de sus ecuaciones, por lo que era previsiblemente lenta para estándares actuales, así que, en un momento decisivo para su investigación, copió una sucesión de datos ya resueltos y los pasó íntegros a la computadora para que continuara el proceso a partir de allí y ahorrarse tiempo comparado con partir de cero. Sin embargo la serie subsecuente de soluciones no coincidió con lo que Lorenz había obtenido anteriormente, desviándose de manera paulatina pero definitiva hacia una solución completamente distinta. Esto se debió a que los datos que copió el meteorólogo de una impresión solo tenían tres decimales, en tanto que la computadora utilizaba internamente seis (Stewart, 2012).

³³ La aperiodicidad es aquel tipo de comportamiento que no se repite en ciclos similares. Para el caso del clima, su aperiodicidad impide que el mismo día de años distintos ocurran exactamente las mismas condiciones de clima.

En una solución lineal determinista típica, esta diferencia de decimales hubiera causado un error relativamente imperceptible, pero en el sistema de ecuaciones de Lorenz resultó ser catastrófico. A este hecho se le nombra *dependencia sensitiva de las condiciones iniciales*, ahora ya ampliamente conocido como el *efecto mariposa*³⁴ (Gleick, 1987).

Una vez establecida la dependencia sensitiva como una consecuencia intrínseca del sistema, Lorenz continuó trabajando con sus ecuaciones, obteniendo el resultado para 6000 iteraciones. A este conjunto de iteraciones, también llamado *serie temporal*, lo trasladó luego a las coordenadas x, y, z de una gráfica en tres dimensiones como parte del espacio de fases propuesto para su estudio sobre el clima (Stewart, 2012).

Lo que Lorenz buscaba era un punto único hacia el cual tendieran todas estas coordenadas (estabilidad) o bien que formaran una curva girando sobre sí misma de forma circular (periodicidad), pero no pudo encontrar lo uno ni lo otro. Lo que sí halló fue un patrón exquisito formado a partir de las cifras aparentemente aleatorias obtenidas en cada iteración, un patrón en que las líneas nunca se cruzaban (Fig. 20), y esto derivó en que Lorenz afirmara que la predicción a largo plazo del clima resultaba categóricamente imposible de realizar, ya que el Efecto mariposa provoca que las soluciones sean inestables y casi todas aperiódicas, por lo que no existe un patrón de repetición al cual recurrir como referencia de condiciones anteriores del clima (Stewart, 2012).

³⁴ El nombre procede de la expresión: "...el aleteo de una mariposa en Brasil puede ocasionar un tornado en Texas..." (Madrid, 2010, p. 9). Esto significa que en la predicción del clima interfieren factores minúsculos e indetectables que sin embargo están encadenados al evento estudiado, tal como la posibilidad de embocar una pelota en un juego de golf que es influida por rugosidades imperceptibles del terreno.

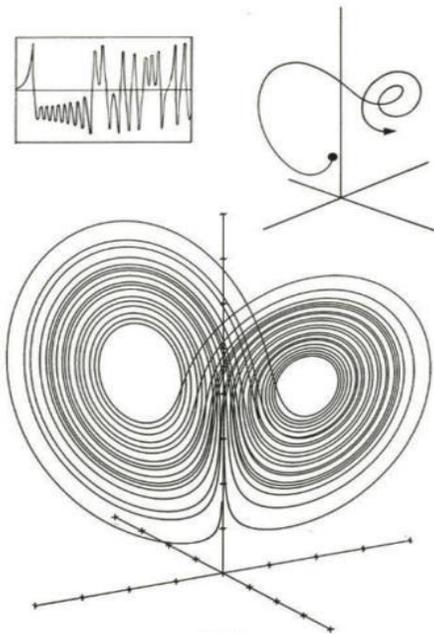


Figura 20. Patrón encontrado a partir de las ecuaciones de Lorenz

Otra cosa que pudo descubrir Lorenz a través de su gráfica es que la curva era atraída de cierta manera hacia dos puntos únicos del espacio de fases, no importaba que tan lejos iniciara de ellos. A este punto se le llama atractor, que en general es cualquier cosa alrededor de la cual un sistema dinámico se estabiliza (Stewart, 2012).

Para el caso de las dinámicas caóticas estos puntos no deberían de existir, puesto que una curva aperiódica convencional que nunca se cruza tiende al infinito, excediendo los límites del espacio de fases. Pero con el Caos, los atractores modelan curvas aperiódicas dentro de estos límites, conciliando dos posturas aparentemente contradictorias, por lo que a esta clase de atractores se les caracteriza con el adjetivo de *extraños*³⁵ (Gleick, 1987).

Antes de ser reconocido como un tipo de atractor con identidad propia, Lorenz solo podía argumentar que su modelo se caracterizaba porque, a pesar de haber eliminado los elementos aleatorios de las ecuaciones, seguía presentando rasgos identificados con la aleatoriedad (Gallego, 1999).

Algunos físicos han interpretado al Caos como a la ciencia del proceso y del devenir antes que el estado y el ser, debido a que al iterar a sus ecuaciones no-

³⁵ En este caso en particular, el atractor se conoce ahora como *Atractor de Lorenz*.

lineales en lugar de resolverlas, estas se transforman en un proceso dinámico y no en una descripción estática (Gleick, 1987).

Resulta sorprendente la estructura que exhiben estos procesos dinámicos al pasar del orden al Caos y que el físico Mitchell Feigenbaum (n. 1944) logró desentrañar en 1975 gracias a sus estudios sobre el inicio de la turbulencia. En estos estudios, de naturaleza teórica, lo más importante es el concepto de *duplicación de periodo* (Stewart, 2012).

Para tratar de entender esto, lo que Feigenbaum hizo fue trabajar en el modelo de turbulencia mediante una ecuación diferencial no-lineal, en el que dentro de un flujo de agua ordenado aparecen de pronto 2 remolinos bien definidos. Luego, estos dos remolinos darán lugar a la aparición de 4 remolinos idénticos, pero de menor tamaño que los dos remolinos originales, luego habrá 8, 16, 32 y así sucesivamente hasta que el orden inicial desaparece y el flujo de agua se convierte en un torrente totalmente desordenado. Lo que Feigenbaum descubrió es que la escala de estos remolinos decrece por un factor constante de 4.6692016090... (con un número infinito de decimales) cada vez que se duplican, una constante aplicable de manera cualitativa y cuantitativa no solo a la turbulencia, sino a todo sistema natural que presente el paso de lo ordenado a lo caótico, siempre y cuando se le considere dentro del modelo adecuado. La constante de Feigenbaum se comprobó en los hechos un poco después de

haberse propuesto teóricamente, y así logró objetivar la duplicación de periodo para aplicarse en varios fenómenos dentro del mundo real³⁶ (Stewart, 2012).

El Caos fue bautizado con su nombre actual en 1975, a través de un artículo de James Yorke y Tien Yien Li titulado «*Period three implies Chaos*» (Madrid, 2010), y a partir de allí han sido los medios los encargados de nombrar como teoría del Caos a algo que realmente consiste en una teoría moderna de la dinámica no lineal (Stewart, 2012), y que puede definirse como el “...estudio cualitativo de la conducta periódica e inestable en sistemas dinámicos deterministas y no-lineales...” (MacNabb, 2004, p. 2).

1.6.-Los fractales.

1.6.1.-Relación entre el Caos y los fractales

Los fractales y el Caos están relacionados matemáticamente de manera que los primeros permiten describir con un lenguaje específico la forma que tiene el Caos (Stewart, 2012). En el caso del atractor de Lorenz, tal forma consiste en una línea que se desarrolla a través de infinitas trayectorias sin jamás repetirse ni intersectarse, pero permaneciendo en un espacio limitado, como si fuera una espiral formando las alas de una mariposa (Gleick, 1987).

En 1971, ocho años después de haber salido a la luz pública el artículo de Lorenz, los matemáticos David Ruelle y Floris Takens publicaron un trabajo

³⁶ Dentro de estos fenómenos se encuentran algunos sistemas físicos, electrónicos y biológicos. Un caso ya típico de la duplicación de periodo se da en ciertas poblaciones de peces, cuyos patrones de crecimiento y estabilización siguen este tipo de conducta (Laguna, 2016).

titulado «*On the Nature of Turbulence*», donde hicieron mención de que tenía que existir un tipo de atractor extraño para poder explicar el inicio de la turbulencia en un fluido como el agua (Gleick, 1987).

Incluso incluyeron dibujos en su artículo muy parecidos al atractor de Lorenz. Ellos desconocían el artículo de Lorenz que había sido publicado en 1963, y en cuanto lo leyeron inició la euforia por parte de los matemáticos y físicos que por fin comprendieron la importancia de aquel artículo. Fue hasta entonces que comenzaron a estudiar a conciencia la forma en que se comportaba ese tipo tan

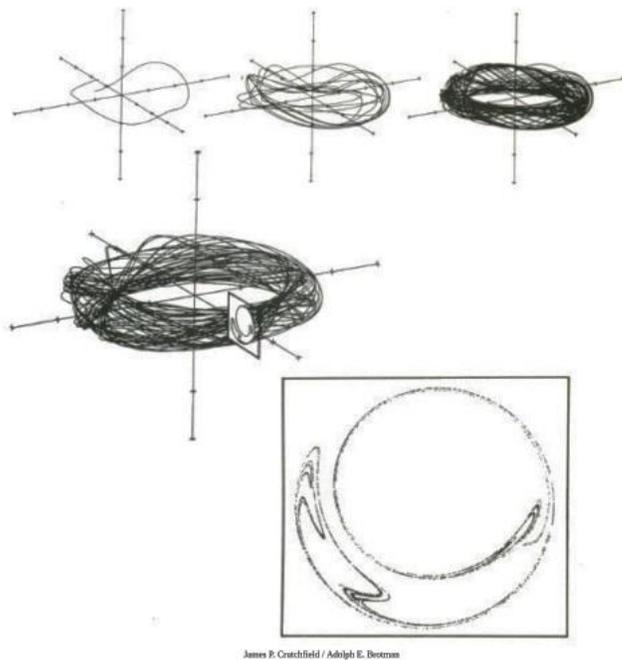


Figura 21. Uso de la sección de Poincaré para simplificar las órbitas alrededor de un atractor extraño

peculiar de atractor (Gleick, 1987). Una de las técnicas aplicadas para analizarlo fue la sección de Poincaré³⁷, lo que revelaba la compleja estructura de un atractor de la misma forma en que se habían estudiado las órbitas en el añejo problema de los tres cuerpos. (Fig. 21).

No obstante, no hubo una terminología adecuada para describir las propiedades únicas de

los atractores extraños hasta 1975, año de la publicación del libro “La geometría

³⁷Se trata de un plano perpendicular a la órbita de un número “n” de cuerpos bajo estudio. Es prácticamente lo mismo que cortar una rebanada a un pastel y examinar lo que se ve en su superficie interna.

fractal de la naturaleza”, escrito por el investigador de la IBM Benoit Mandelbrot (Stewart, 2012), quien introdujo al léxico científico el término fractal, del latín *fractus*, que significa ‘irregular’ (McNabb, 2004).

1.6.2.-La dimensión fractal

La idea de Mandelbrot se desarrolló muy aparte de la teoría del Caos, ya que lo que pretendía era describir de mejor manera la geometría que existe en la naturaleza, y el ejemplo perfecto para este tipo de descripción geométrica son las líneas costeras (Stewart, 2012).

Lo anterior funciona así: si se midiera con un hilo la longitud de la costa trazada en un mapa de grandes dimensiones y luego nos pudiéramos acercar un poco más para volver a medirla, la medida no coincidiría, pues surgirían detalles

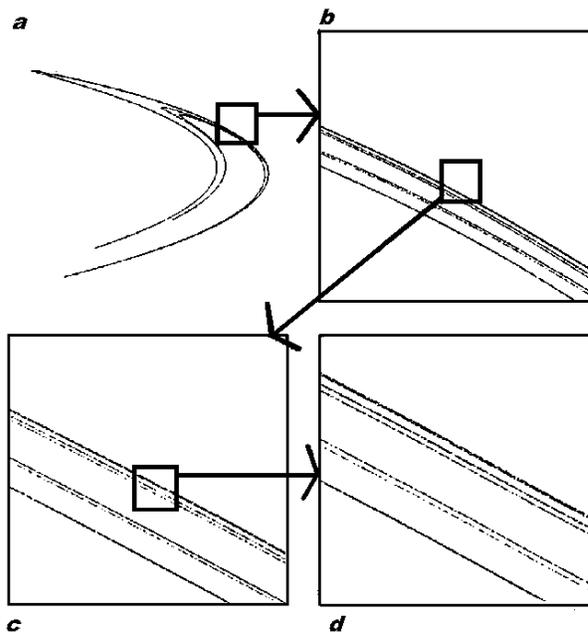


Figura 22. Autosimilitud en el atractor de Henon

no vistos la primera vez, por lo que la longitud del hilo aumentaría. Esto sucederá cada vez que se aumente la escala de observación, de manera inevitable. Lo curioso es que la forma y proporción de las irregularidades aparentarán ser las mismas a cualquier escala, hecho al que se le denomina

autosimilitud (McNabb, 2004), cualidad que puede verse reflejada en los atractores, como en el ejemplo ilustrado en la Fig. 22, donde se ilustra el caso para el atractor de Henon.

La dimensión fractal es una manera de evaluar el grado de autosimilitud que posee un cierto grupo de objetos, y se encuentra correlacionada con la dimensión topológica. La dimensión topológica es aquella heredada de la geometría euclidiana, en donde el punto tiene una dimensión igual a cero, una línea recta tiene una dimensión de 1, una figura plana tiene una dimensión igual a 2, en tanto que un objeto volumétrico se equipara con una dimensión igual a 3³⁸. En la dimensión fractal, en cambio, sus valores pueden ser fraccionarios y ubicarse en un orden mezclado entre una y otra dimensión, lo cual hace a estos objetos más que una línea, pero menos que un plano, por ejemplo. Esto quiere decir que mientras más complejo es un fractal trazado mediante una línea, su valor D (D = dimensión) tiende más hacia 2 que hacia 1.³⁹ (Ortega, 2013).

1.6.3.-Determinación del valor fractal de un objeto

Las ilustraciones y el proceso que a continuación se presentan, están basados en los textos de E. Ortega (2013) y de H.T. Arita (2005).

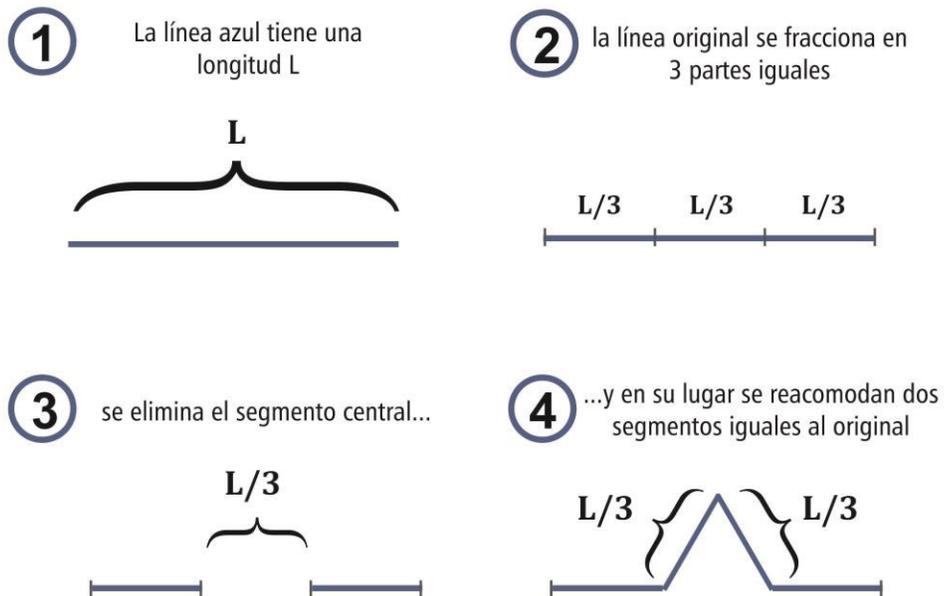
No es fácil comprender lo que entraña matemáticamente un fractal, pues es un concepto tan abstracto para el lego como lo puede ser un texto profundo sobre estética, pero de acuerdo a lo aquí investigado, el fractal es una manera lógica de

³⁸ Cfr. Las mismas categorías objetuales descritas por la *tetractys* en el subcapítulo 1.3.1, pero con un valor numérico distinto.

³⁹ Esto mismo puede ocurrir entre las dimensiones 0 y 1, o entre la 2 y 3.

aumentar las dimensiones de un objeto sin modificar excesivamente la percepción general de su forma y tamaño originales. La Fig. 23 demuestra en imágenes lo que esto quiere decir en la práctica.

El principio fractal en imágenes:



La línea recta se fraccionó, y luego se "fracturó" para poder agregar un segmento a escala exacta con la línea original. La palabra FRACTAL tiene su origen en la voz latina *fractus*, del verbo *frangere*, romper

Figura 23

Al ser idénticos a la línea inicial, pero a una escala menor, los cuatro segmentos de longitud $L/3$ señalados en la Fig. 23, presentan la cualidad de autosimilitud ya revisada a suficiencia en el caso del pentágono, por lo que solo queda por deducir una operación matemática que le dé un valor fractal a esta autosimilitud. Esta operación es conocida como fórmula Hausdorff-Besicovitch y

se expresa como:

$$D = \frac{\log N}{\log r}$$

Es decir: la dimensión D es igual al logaritmo de N sobre el logaritmo de r , en donde N es el número de componentes y r es el factor de escala.

Para entender esta fórmula, lo primero es establecer lo que se entiende como logaritmo a través de la siguiente imagen:

2 x 2 x 2 x 2
multiplicar cuatro veces el Num. 2 es igual a:
2 x 2 = 4, 4 x 2 = 8, 8 x 2 = 16
lo anterior se puede representar
de manera más breve como:
2⁴ = 16
donde:



Pero si se quiere saber a qué potencia (o exponente) se tiene que elevar la base 2 para obtener 16, esto lo podemos representar así:

$$2^? = 16 \rightarrow \log_2 16 = ?$$

y el logaritmo para 16 será: 4

Figura 24. Explicación de lo que es un logaritmo

En casos como la ecuación Hausdorff-Besicovitch, donde no hay un subíndice indicando la base del logaritmo, se da por entendido que es base 10.

Ahora, regresando al caso de la Fig. 23, la r o factor de escala es simplemente el número de veces en que se divide la figura inicial. Para el caso de esta línea en particular, su factor de escala es $r=3$, ya que se dividió en tres partes iguales. Sin embargo, después de dividir la línea y *fracturarla*, podemos constatar que ahora existen cuatro elementos que la componen, por lo que N es igual a cuatro, o $N=4$ (Fig. 25).

Obtención de los valores para “r” y para “N”

la línea original se fracciona en 3 partes iguales, por lo que el factor de escala “r” es igual a 3, ó bien: $r=3$



al “fracturar” la línea, ahora tiene 4 componentes, por lo que “N” es igual a 4, o bien: $N=4$

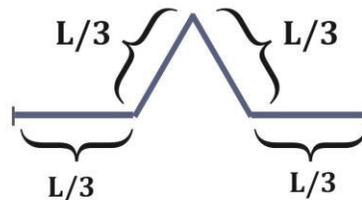


Figura 25

Ya solo queda ingresar los valores encontrados de la gráfica anterior en la fórmula Hausdorff-Besicovitch y realizar la operación con los logaritmos de manera que:

$$\text{Dimensión} \rightarrow \mathbf{D} = \frac{\log N}{\log r} = \frac{\log 4}{\log 3} = 1.2619$$

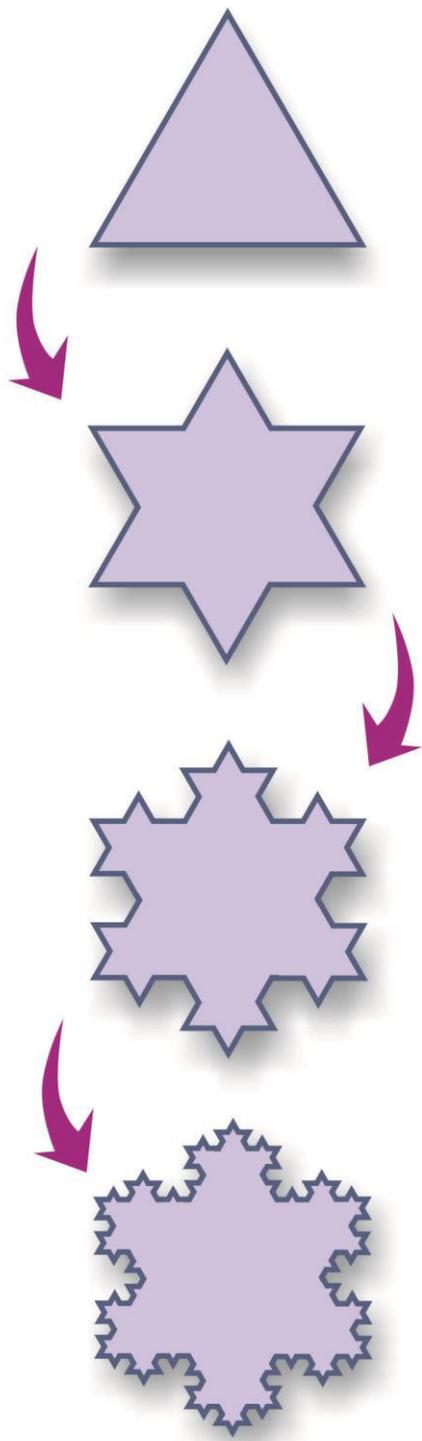


Figura 26. Obtención del copo de Koch

El resultado de 1.2619 comprueba que la línea L tiene propiedades fractales, pues de otra manera su dimensión D tendría que coincidir con el valor de la dimensión topológica para una línea, es decir, a 1. Esta línea se conoce como *curva de Koch*.

1.6.4.-Ejemplificación de la dimensión fractal a través de la figura del copo de Koch

La curva de Koch se utiliza en la construcción de una figura conocida como *copo de nieve de Koch*. Se trata de un objeto obtenido a partir de un triángulo equilátero de lados unitarios, a los cuales se convierte en fractales de acuerdo con el proceso seguido en el apartado anterior, tal como se muestra en la Fig. 26. La dimensión D para esta figura es la misma que la de las curvas que la integran, es decir: 1.2619.

El copo de Koch posee algunas peculiaridades propias de las figuras fractales, como la de tener mayor dimensión que una línea simple, pero menor que la de un plano topológico, que es de 2.

Otra peculiaridad es la de que su perímetro es infinito a pesar de que el plano que determina es finito, y por último, muestra la misma estructura en todas las escalas por mucho que se amplíen sus detalles más pequeños.

Al igual que la curva de Koch, los atractores extraños también poseen una dimensión fractal que varía para cada caso. Incluso puede definirse un atractor extraño como un fractal por sí mismo (Stewart, 2012). El atractor de Lorenz tiene una dimensión fractal calculada alrededor de 2.06 en tanto que la de Henon es de 1.28.

Los fractales cumplen dos papeles distintos en la ciencia; por un lado, pueden aparecer como un objeto primario para describir procesos y formas irregulares, y por el otro pueden ser el resultado de una dinámica caótica oculta.

La necesidad de dedicarle una atención especial a la dimensión fractal quedará de manifiesto al abordar la poética en torno a los lienzos de Jackson Pollock, ya que sin este conocimiento previo sería difícil de entender la relación que existe entre el *dripping* y el Caos, un tema que se tratará ampliamente en la última parte de este primer capítulo.

1.6.5.-Los fractales como una forma de arte basado en la tecnología

Extenso, complicado y poco razonable sería el tratar de entrar de lleno al terreno de los fractales en esta investigación, sin embargo vale la pena cuando menos explorar algunos aspectos superficiales de cómo es que llegan a formar la multitud

de imágenes tan cautivadoras que algunos artistas visuales especializados en el arte digital se dedican a plasmar como parte de su obra.

Una manera sencilla de aproximarse a un fractal y sus propiedades de reproducir formas y figuras complejas es el árbol de Pitágoras. En efecto, el arreglo de tres cuadrados alrededor de un triángulo rectángulo, repetido una y otra vez en escala descendente hasta sus límites visibles, proporciona una figura sorprendentemente orgánica, de allí su nombre.

Este fractal fue construido por el profesor de matemáticas Albert Bosman, en 1942, y aunque claramente su creador no podía haberlo categorizado en ese entonces como un fractal, tiene el elemento esencial para identificarlo como uno de ellos: la autosimilitud (Artacho, 2014).

A continuación se ilustran los pasos para desarrollar una variedad interesante del árbol de Pitágoras, y poder comprobar así la sencillez con la que una geometría limitada y ordenada matemáticamente puede dar origen a una forma identificable con una figura orgánica compleja.

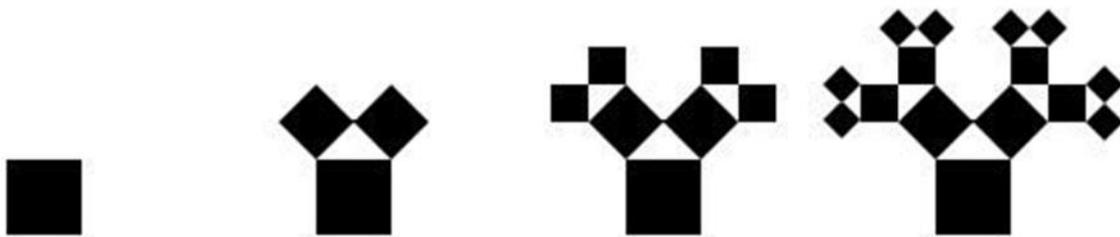


Figura 27. Primeros pasos para construir un árbol de Pitágoras

Como se puede corroborar en la Fig. 27, se comienza con la colocación de tres cuadrados cuya única regla para su acomodo es la de reproducir el teorema de Pitágoras. El resto de los cuadrados mantienen esta única regla en base al tamaño y orientación del cuadrado inmediato anterior, hasta llegar a la reproducción en 3D, en la cual es necesario además agregar giros de 90° a los cubos en los que se han convertido los cuadrados originales (Fig. 28). (Artacho, 2014).

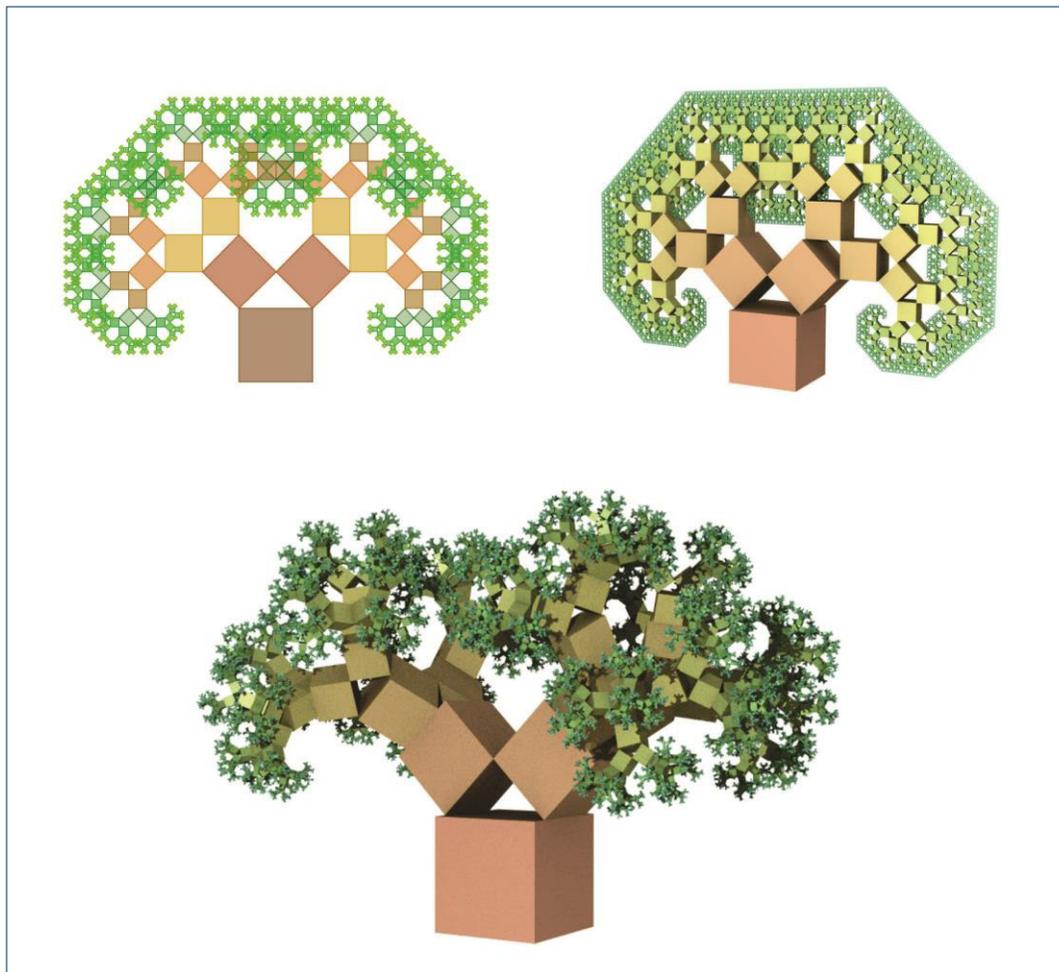


Figura 28. El paso de un árbol de Pitágoras plano a uno en 3D.

Aunque el teorema de Pitágoras no es por sí mismo un fractal, la proporción entre sus elementos hace posible su utilización para construir uno a través de un proceso combinado de iteración y autosimilitud, procesos que ya se han comprobado suficientemente aquí como inherentes al fenómeno del Caos.

Sin embargo también es posible generar fractales a través de la interacción del conjunto de los números reales⁴⁰ con el conjunto de los números imaginarios. Al territorio numérico donde esto ocurre se le llama *plano complejo* (Gleick, 1987).

Una buena analogía del plano complejo es ubicando al conjunto de números reales sobre una recta que corre de este a oeste con el cero en el punto central. Los números imaginarios ocuparían en cambio el *espacio* al norte y al sur de la línea de los números reales. El conjunto de los números imaginarios ocuparía todo este espacio plano, donde al interactuar con los números reales⁴¹, forman el grupo de los números complejos (Gleick, 1987).

Luego, para que los números complejos formen figuras fractales se deben aplicar algunas reglas muy específicas. Estas reglas se refieren a representar gráficamente solo aquellos puntos que al iterarse una y otra vez a través de una función dada, no tiendan a un valor infinito, de otra manera se eliminan y se pasa a la siguiente operación. A diferencia de una ecuación típica, en donde se busca un resultado único, en una aplicación de tipo fractal lo que se obtiene son series de resultados iterados para cada punto del plano complejo. Para su coloración se

⁴⁰ Los números reales abarcan varios subconjuntos de números: los naturales, los enteros, los racionales y los irracionales, todos ellos representables a lo largo de una sola recta nombrada por lo mismo *real* (Becerra, 2016).

⁴¹ Todo número imaginario debe contener un número real como una de sus partes.

toma en cuenta qué tan rápido tiende la iteración al infinito o a un estado estable (Gleick, 1987).

La colección de puntos va formando poco a poco figuras impresionantemente complejas, y al acercarse a un detalle de la figura no se observa solo la ampliación plana de una línea, sino que se van definiendo nuevas figuras con cierta similitud entre ellas, conservando apenas algunos rasgos en común respecto a la forma global de fractal.

El caso más impresionante es el del *conjunto de Mandelbrot*, que se forma a partir de la única aplicación:

$$z = z^2 + c$$

En donde c es el punto del plano complejo que funciona como constante y z representa a la sucesión de números complejos a iterar en forma de coordenadas.

La manera de realizar el proceso con esta aplicación es: se toma el número complejo, se eleva al cuadrado y se suma el número original. Luego se obtiene el cuadrado del resultado y se suma el número original y así sucesivamente (Gleick, 1987).

Esto termina generando una figura como la que se ilustra en la Fig. 29, con detalles de increíble complejidad que nunca terminarían de producirse de no ser por los límites inherentes de la tecnología que hace posible su visualización.

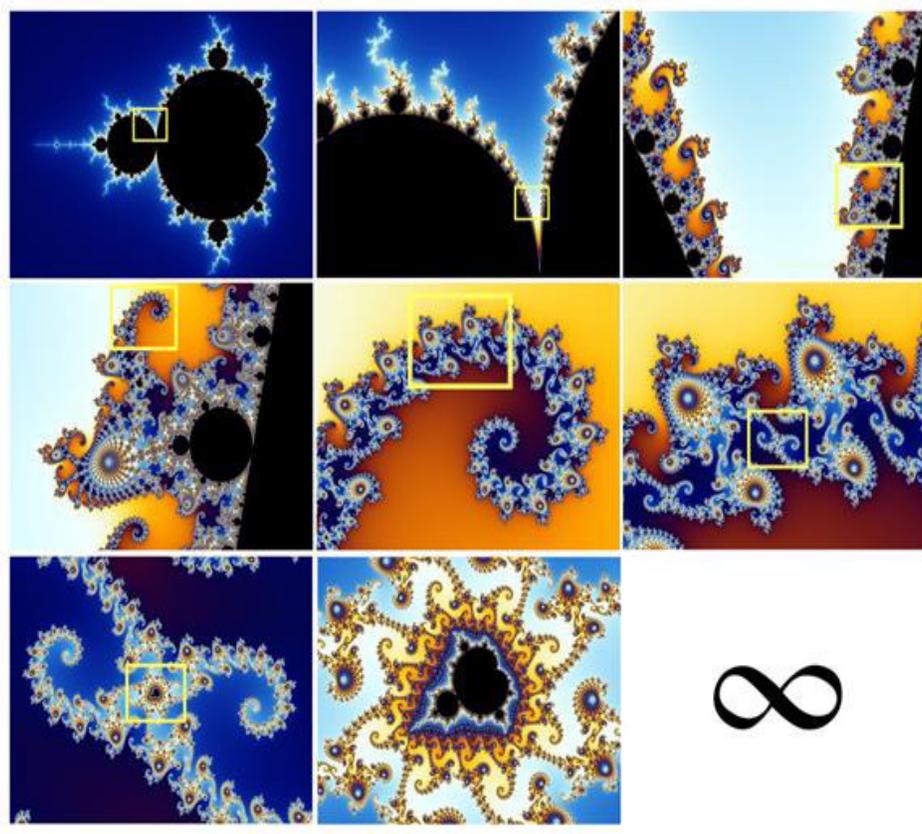


Figura 29. Ampliaciones reiterativas de una misma zona del conjunto de Mandelbrot

Vale precisar que un fractal nace con todos sus detalles al resolver una sola aplicación de $z = z^2 + c$, lo que da una idea de la enorme cantidad de cálculos necesarios para visualizarlo con el detalle mostrado en la figura ya señalada.

1.7.-Intervención de lo aleatorio en el arte visual

Hablar de arte y su elemento aleatorio es un tema que se puede abordar desde dos distintos entornos, ya que en lo aleatorio caben tanto aspectos técnicos y materiales usados para la creación de la obra artística como también la *psiquis* del propio artista, quien puede barajar de entre un enorme grupo de variables

creativas a las cuales puede combinar a placer en su mente sin que exista una razón suficientemente clara para elegir una combinación específica, tal como se vio en el capítulo 1.6.3.

En ese sentido no sería complicado afirmar que toda obra de arte, así como toda obra humana por extensión, posee inevitablemente un ingrediente basado en lo imprevisible, o como lo dice Calvin Tomkins en su libro «Duchamp»: “...todos los artistas se sirven del azar en cierta medida, a sabiendas o no...” (1996, p. 146).

Pero en esta investigación se trata precisamente de aislar y de objetivar a un reducido grupo de estos factores imprevisibles, todos ellos observables como fenómenos integrados al aspecto material de la obra, y todos ellos aparentemente supeditados al azar o algunas de las derivaciones afines descritas en el apartado 1.6.2 de esta investigación.

Lo importante para esta parte de la investigación reside en evidenciar los nexos entre una reducida muestra del arte universalmente aceptado como tal y la ocurrencia de procesos aleatorios en la conformación de este arte, comprobados a través del registro documental de críticos e historiadores, o inclusive de los mismos artistas que han escrito sobre el asunto.

Desde luego no se trata de cubrir de manera exhaustiva el tema, pues la extensión de su contenido sería demasiado amplia, sino solo de aislar algunos ejemplos claros de lo que la influencia de lo imprevisible ha logrado en torno a ciertas piezas de arte visual. Estos ejemplos serán confrontados al término de esta investigación junto con otras conclusiones obtenidas en torno al Caos, para tratar

de establecer la posibilidad de un cambio en la percepción crítica de estas obras, al considerar al Caos como un caso específico de las cualidades sensibles del objeto artístico, es decir, como una categoría de propiedades estéticas bien definida y distinta del azar.

1.7.1.-Marcel Duchamp y el «Gran vidrio»

Sobre Marcel Duchamp y su obra se ha escrito una cantidad ingente de material, y se sigue escribiendo y opinando sobre su *status* privilegiado en los precedentes del arte conceptual. En este apartado la atención se centrará específicamente en algunos de los procesos aleatorios aplicados por Duchamp en la realización del «Gran vidrio» y cómo estos procesos inciden en la integración global de esta obra.

Existe una percepción generalizada de que Marcel Duchamp perteneció al movimiento Dadá. Este movimiento fue creado en 1915 en Zúrich por el poeta Tristán Tzara y por Hugo Ball, escritor y director teatral, no como una forma de hacer arte, sino como una forma de vivir que incitaba a la libertad en todos sentidos (Vlad, 2009).

Esa misma libertad que abrogaba cualquier tipo de convencionalismo fue plasmada por Tzara en el manifiesto Dadá de 1918 (hubo otro en 1916), y publicada en la revista del mismo nombre (Vlad, 2009)

En una sección del manifiesto se puede leer lo siguiente acerca del azar:

A los filósofos les gusta agregar el siguiente elemento:

El poder de observación. Pero precisamente esta magnífica cualidad de la mente es la prueba de su impotencia. Uno observa, uno mira de uno o

de muchos puntos de vista, uno los escoge entre los millones que existen.

También la experiencia es un resultado del azar y de las facultades individuales. (Tzara, trad. en 2013, p. 13)

A pesar de que el movimiento Dadá estaba en su apogeo cuando Duchamp apareció en la escena artística, sería inexacto encasillarlo como dadaísta en consecuencia, ya que por la propia naturaleza del dadaísmo los artistas e intelectuales que abrazaban sus principios cambiaban pronto hacia otras formas de expresión. Pero lo que todos estos personajes sí conservaron del Dadá fue la fuerte inclinación hacia la innovación y el cambio, características que fueron el núcleo de los movimientos más excéntricos del siglo XX (Vlad, 2009).

El caso de Duchamp no fue distinto, pero no es clara su adhesión a otro movimiento posterior al dadaísmo. A Duchamp en cambio se le puede señalar de haber sido precursor del arte objetual y del arte cinético, así como de que más que un artista, pudo haber sido un filósofo metafísico que se dedicó a cuestionar la realidad del arte. Él mismo negó alguna vez que lo que estaba haciendo en Nueva York se pudiera llamar dadaísmo, porque, según su parecer, el aportaba algo que los dadaístas no: el sentido del humor (Tomkins, 1996).

Bajo estas premisas, y posterior a su periodo con la pintura, Duchamp comenzó en 1912 los primeros bocetos de su obra «La mariée mise à un par ses célibataires, même» [La novia desnudada por sus novios también] (Galindo, 1991).

Al paso del tiempo la obra sería conocida como «Le Grand verre» [el Gran vidrio],

Fig. 30



Figura 30. "El Gran vidrio"

sus elementos, no de una manera concreta, sino más bien simbólica de una manera muy similar a la que se juega el ajedrez, por lo que sería un hecho que el espectador de la obra intervendría de la misma manera que la de un jugador de ajedrez con las piezas del tablero (Galindo, 1991)

Si se ha de creer a las declaraciones del mismo Duchamp, la fuente de inspiración para el Gran vidrio fue una obra de teatro del escritor francés Raymond Roussel (1877-1933) titulada «Impressions d'Afrique», y que fue una adaptación de la novela del mismo autor. La estructura del lenguaje utilizada tanto en la novela como en la puesta teatral de «Impressions d'Afrique», llena de retruécanos y frases arbitrarias, caló hondo en el espíritu de Duchamp, quien amalgamó en la hechura del Gran vidrio elementos materiales y conceptuales de significación variable, dotándole así de una cualidad eminentemente críptica ante todo aquel que se ha acercado a la obra con la idea equivocada de enfrentarse con una pieza

Si bien es cierto que sobre el «Gran vidrio» se pueden conjugar varios niveles de interpretación, no puede ignorarse el hecho primordial de que Duchamp utilizó al azar como un poderoso elemento configurador dentro de todo el proceso creativo. Tampoco podría dejarse de lado el hecho de que Duchamp estudió las matemáticas de su tiempo a través de textos pensados para el público no especializado escritos por Henri Poincaré y Pascal Esprit Jouffrert, además de que le interesaba el concepto de la cuarta dimensión, un concepto que se separaba de las bases de la geometría euclidiana y de la percepción de nuestro espacio como lo experimentamos en la realidad cotidiana (Tomkins, 1996).

Asimismo, Duchamp realizó estudios académicos en la *Bibliothèque Sainte-Geneviève*⁴² sobre la perspectiva renacentista, lo cual explica la pulcritud con la que realizó algunos elementos del «Grand verre». El propósito de Duchamp al utilizar el dibujo geométrico era el de buscar una vía para romper con los métodos tradicionales utilizados en el arte, entre ellos la influencia del toque personal en los trazos dibujados a mano y que en francés se alude como *la patte* [la pata]. Desde esta perspectiva el dibujar mediante el auxilio de una regla le impediría a estos rasgos personales aparecer en el dibujo terminado (Tomkins, 1996).

Pero Duchamp también buscaba la eliminación de la intención consciente en su trabajo, de manera que recurrió al uso del azar para lograrlo.

Esto lo hizo a través de varios pasos aplicados en algunos trabajos preliminares que realizó antes de aplicar sus resultados en el «Gran vidrio». Uno

⁴² Biblioteca de Santa Genoveva, ubicada en París, Francia.

de ellos consistió en tres hilos de color blanco que cortó exactamente a un metro de largo cada uno. Luego sostuvo los hilos tensados al máximo a un metro de distancia de un lienzo rectangular y los dejó caer sobre el lienzo, uno a la vez. Una vez hecho esto, Duchamp pegó los hilos al lienzo con gotas de barniz, sin alterar la manera en la que se habían acomodado naturalmente en su caída. Las tres distintas áreas del lienzo fueron recortadas y pegadas en cristales, y luego Duchamp creó tres patrones de madera siguiendo el contorno de cada uno de los hilos. Todo lo acomodó en un estuche usado originalmente para el cricket y lo llamó «Trois stoppages étalon»⁴³ (Tomkins, 1996).

Los patrones de madera creados por este método fueron utilizados por Duchamp posteriormente para trazar una parte del «Gran vidrio» en el panel inferior izquierdo de la obra, a la que se conoce como «Nueve moldes machos».

Duchamp volvió a utilizar al azar para diseñar tres formas a las que llamó «Pistones de corriente de aire» y que se encuentran en el panel superior de su *vidrio*. Esta vez colgó un trozo de tela con lunares frente a una ventana abierta y le tomó tres fotos distintas, lo que reflejó en cada caso una leve distorsión en la tela debido a la corriente de aire que pasaba por la ventana (Tomkins, 1996). Al igual que en sus pistones, Duchamp utilizó una fuerza natural para generar arte por azar: en el caso de los pistones se trató de la fuerza de gravedad y en el segundo del movimiento del aire, muy seguramente con la ocurrencia de un fenómeno turbulento, al menos a pequeña escala.

⁴³ La traducción del título de la pieza no tiene un equivalente exacto en español, que diría de manera literal: «Tres zurcidos patrón» pero según algunas traducciones sería más bien: «Tres zurcidos invisibles estándar». (N. del A.).

Queda solo por mencionar en esta breve reseña el accidente que sufrió el «Gran vidrio» durante su traslado del museo de Brooklyn, donde había sido expuesto en 1926. La pieza, mal embalada, se resquebrajó de arriba abajo cuando era llevado a la casa de su entonces propietaria Katherine Dreier para su resguardo. No solo parece no haberle afectado a Duchamp el accidente que destruyó su obra, sino que lo interpretó como una intervención positiva del azar (Tomkins, 1996). En su libro «Duchamp: el amor y la muerte, incluso», Juan Antonio Ramírez cita las siguientes palabras de Duchamp:

Me gustan estas grietas [...] porque no se parecen al vidrio roto. Tienen una forma, una arquitectura simétrica. Más aún, les veo una intención curiosa de la que no soy responsable, una intención ya hecha en cierto modo, que respeto y quiero. (Ramírez, 1993)

Duchamp terminó de reparar el «Gran vidrio» en 1936, pudiéndose leer a partir de entonces la siguiente inscripción al dorso de la obra: *LA MARIÉE MISE À NU PAR/ SES CÉLIBATAIRES MÊME/MARCEL DUCHAMP/1912-1923/-inachevé/ -cassé 1931/-reparé 1936.*⁴⁴ (Galindo, 1991).

1.7.2.-Los patrones fractales en la obra de Jackson Pollock

Jackson Pollock (1912-1956) formó parte de la llamada Escuela de Nueva York, movimiento de la plástica norteamericana que propagó la corriente del expresionismo abstracto en los años cuarenta. La técnica del *dripping* [goteo], marcó el rumbo de su producción más reconocida, y son los patrones formados a

⁴⁴ La novia desnudada por/ sus solteros, también/ Marcel Duchamp 1912-1923/- inacabada/-rota 1931 /-reparada 1936

través de la aplicación del *dripping* los que han resultado estar íntimamente relacionados con el Caos, ya que muestran características afines con la geometría fractal⁴⁵.

Es interesante tratar de descubrir cómo es que esto pudo ocurrir dentro de un contexto en el que la dimensión fractal ni siquiera había surgido en la mente de Mandelbrot. Algunas referencias señalan al subconsciente como una posible explicación, un subconsciente que al principio Pollock trabajó desde la perspectiva jungiana sobre los arquetipos, una concepción que después evolucionaría para volverse una poderosa fuerza vital, anterior a la generación de cualquier concepto racional. Lo que Pollock logró con esto fue acceder a una pureza que habita en lo indiferenciado, una fuerza del subconsciente que resulta anterior a la construcción social de la subjetividad o de cualquier símbolo, expresada a través de la acción gestual al realizar sus pinturas (Rampley, 1996).

Pero por otra parte la técnica del *dripping* también podría estar anclada en una consideración sobre el subconsciente radicalmente opuesta, sobre todo en algunas obras en las que se puede observar una discontinuidad o falta de rumbo, un tipo de aspereza que muestra a un Pollock variando entre lo armónico y lo disonante. Esta dualidad podría relacionar a Pollock con el movimiento Dadá y su fascinación por lo caótico (Rampley, 1996).

En conclusión: Pollock pudo haberse dejado llevar por un estado profundo de relajación que lo llevó a un estado previo a la conciencia, desde el cual y a través de una especie de danza realizada sobre el lienzo, aplicó la técnica del

⁴⁵ Cfr. subcapítulo 1.6.

dripping en su pintura, o bien, pudo haber dejado que fluyera en él una dinámica, anárquica colección de impulsos muy posterior al estado subconsciente, tan numerosa y aleatoria que le hubiera sido imposible reducirla a una estructura con un orden lógico discernible. En una tercera posibilidad, Pollock pudo haberse trasladado de uno de estos estados al otro de acuerdo a los mandatos de una dinámica emergente e impredecible establecida sobre las premisas del azar (Rampley, 1996).

Sea cual haya sido el fundamento real para su *action painting*, la obra de Pollock llamó poderosamente la atención del físico norteamericano Richard P. Taylor, quien al realizar en 1994 algunos estudios en la Escuela de Arte en Manchester, Inglaterra, realizó un singular experimento en el cual enlazó el derrame de pintura en un lienzo preparado para tal fin, utilizando como herramienta el movimiento natural de las ramas de árboles causado por el viento. La intención inicial de Taylor era la de representar el paisaje natural de la zona de manera convencional, pero como el viento le había impedido hacerlo, su experimento fue con el propósito de que fuera entonces la naturaleza misma quien realizara la pintura (Taylor, 2006).

Mayúscula fue la sorpresa de Taylor al descubrir que la pintura que se plasmó de tal manera exhibía un gran parecido con las pinturas de Pollock.

A partir de entonces Taylor dedicó parte de sus investigaciones a tratar de encontrar un nexo objetivo entre las cualidades formales del *dripping* de Pollock y los patrones creados de manera natural por los árboles y el viento (Taylor, 2006).

Para lograr esto, Taylor aplicó dos principios de la geometría fractal, los cuales consisten en:

1.-Los fractales poseen autosemejanza, que es la cualidad que les permite tener una apariencia similar a cualquier escala, o dicho de otra manera, sus partes guardan similitud con el todo.

2.-Los fractales poseen una dimensión fractal D específica (Taylor, Micolich, & Jonas, 2002).

Sobre el primero de estos principios, existen dos maneras de evaluar la autosemejanza: la exacta, que se puede ver en modelos de fractales generados por computadora, y la estadística, en la cual no son los patrones los que se repiten

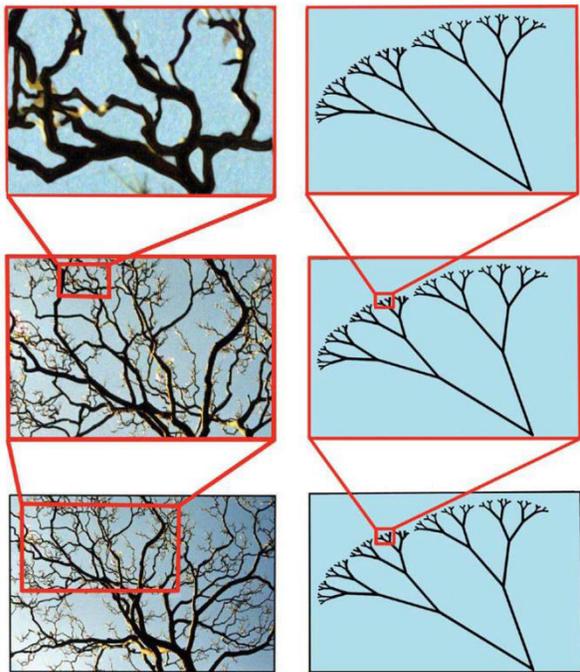


Figura 32. Diferencia entre fractales exactos (derecha) y estadísticos (izquierda).

exactamente, sino sus características similares medidas estadísticamente (Fig. 32). Esto último aplica para los patrones fractales que pueden encontrarse en la naturaleza y en las pinturas de Pollock (Taylor, 2003).

Puede imaginarse a las líneas generadas por el dripping de Pollock entrecruzándose y extendiéndose a lo largo y ancho de un área limitada por los lados de un lienzo,

pareciéndose cada vez más a una mancha plana que a una línea, pero esto por sí solo no determina que la línea termine siendo un fractal; aún requiere que aparezcan rasgos de autosimilitud (Taylor, 2006).

Como puede comprobarse a primera vista en la Fig. 32, un objeto real, ya sea natural o creado por el hombre, difícilmente podrá equipararse con la exactitud de una figura generada matemáticamente, por lo que en el caso de las pinturas de Pollock, Taylor aplicó el criterio de autosimilitud estadística, en donde se buscó la repetición aproximada de estructuras y patrones en distintas zonas del lienzo y en distintas escalas (Taylor et al., 2002).

Lo que Taylor y su equipo hicieron para poder detectar estos patrones fractales en las pinturas de Pollock, fue convertir algunas de ellas a un formato digital, y una vez dentro de una interfaz gráfica les aplicaron a estas imágenes digitales una malla cuadrículada con la finalidad de detectar cuantos cuadros estaban ocupados por cualquier rasgo visible del patrón (Taylor, 2006).

A esta metodología se le llama *box counting* [conteo de cajas] en alusión a la malla cuadrículada utilizada para tal fin, y se aplica tanto a la imagen entera como a partes de esta, variando la escala de los cuadros desde unos metros a unos cuantos milímetros (Taylor, Spehar, Van Donkelaar, & Hagerhall, 2011).

Una vez obtenidos los datos suficientes, se les aplicó una fórmula muy parecida a la de Hausdorff-Besicovitch para obtener la dimensión fractal⁴⁶, pero esta otra fórmula contempla la generación de coordenadas formadas entre el valor

⁴⁶ Cfr. subcapítulo 1.6.

logarítmico del número de cuadros de la malla ocupados por cualquier segmento visible del patrón $\log N(r)$ y el tamaño de los cuadros $\log(1/r)$.

En la Fig. 33 se muestra un ejemplo de aplicación de la malla al contorno del mapa de Inglaterra, y como según decrece el tamaño r de los cuadros de la malla, el número de cuadros ocupados por un rasgo del mapa $N(r)$ crece de manera importante (Ortega, 2013).

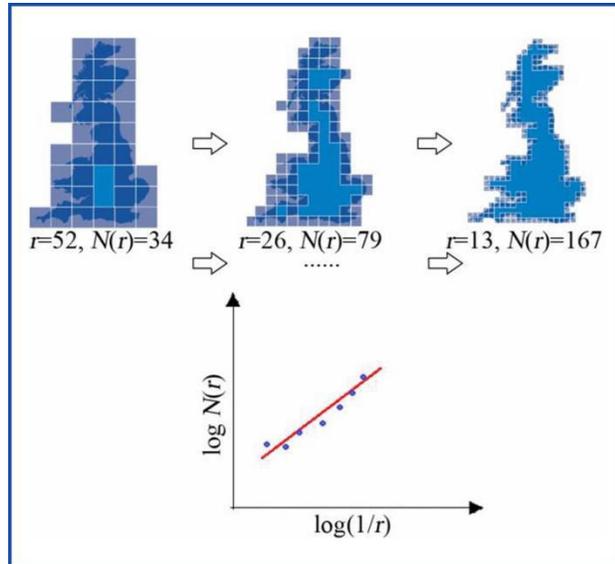


Figura 33. Aplicación del conteo de cajas en un mapa de Inglaterra

Asimismo, en la Fig. 33 se muestra la manera de graficar los datos mediante la aplicación de la fórmula Mikowski-Bouligand, que se expresa como:

$$D = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\log N r}{\log 1/r}$$

En donde la dimensión D es igual al valor de la pendiente generada por logaritmo Nr del número de cuadros ocupados de un tamaño r , en función al logaritmo del inverso del tamaño de estos cuadros $1/r$, utilizando un tamaño de los cuadros de una malla cada vez más pequeños, pero sin que lleguen a desaparecer (Ortega, 2013).

Para determinar el valor de la dimensión D , se van uniendo los puntos establecidos por el valor de las coordenadas, y el valor de la pendiente (inclinación) de la recta así formada será el valor de D . Para una dimensión topológica el valor resultará ser un número entero, y para una dimensión fractal será en cambio un número fraccionado de un tipo parecido al que se encontró para el copo de Koch. En el caso de las pinturas de Pollock, lo más importante era determinar qué tan apegadas a la recta resultaban los valores obtenidos en el conteo de cajas, ya que mientras más se separaran de esta, significaría que el valor de autosimilitud estadística no sería válido, y por lo tanto no podría hablarse de patrones fractales en la obra de Pollock (Carmona, 2018).

Taylor realizó la comparación de más de cinco millones de patrones para poder establecer las cualidades fractales de cada una de las pinturas, aplicando varias metodologías para conteo de cajas (Taylor, 2006). Los resultados comprobaron sin dudas que Jackson Pollock, de alguna manera inexplicable, logró imprimir a su dripping una distribución fractal, variando en distintas pinturas con valores de 1.10 hasta otras con valor de 1.89, pero manteniéndose en la mayoría de las veces en alrededor de 1.7 (Taylor et al., 2002).

En 1994, al mismo tiempo que trataba de descubrir la naturaleza fractal en la obra de Pollock, Taylor también se dedicó a investigar acerca de la atracción estética que residía en el *dripping*, utilizando a 120 voluntarios que elegían entre esquemas de pintura fractal y no-fractal creados experimentalmente por el equipo de Taylor mediante un aparato diseñado para tal fin. De los 120 voluntarios, 113

se decidieron por pinturas que exhibían rasgos de autosimilitud (Taylor et al., 2011).

Lo siguiente fue tratar de determinar si era el valor de D (no solo si era fractal, sino *cuán fractal* era) lo que proveía de atractivo a los objetos naturales y artificiales que poseían cualidades de autosimilitud, y para este experimento donde tomaron parte 220 sujetos, se les mostró pares de imágenes en un monitor, ambas con dimensión fractal pero en grados distintos. La mayor preferencia estadística fue hacia los valores de D entre 1.3 y 1.5, fueran objetos naturales, creados por el hombre o generados por computadora (Taylor et al., 2011).

Finalmente solo queda mencionar que los experimentos de Taylor son un ejemplo de cómo se puede proponer una investigación científica para incidir sobre la comprensión del arte, y que los resultados obtenidos por este investigador no solo arrojan luz sobre los procedimientos en la creación de las pinturas de Pollock, sino también sobre el aspecto sintáctico compatible con los fractales y el Caos, y que indudablemente ha contribuido para que la obra de este importante símbolo del arte universal haya trascendido desde su creación hasta el día de hoy.

1.7.3.- John Cage y sus composiciones basadas en el azar y la indeterminación.

John Cage (1912-1992) fue un artista norteamericano multidisciplinario que lo mismo abordó la música, la pintura y la poesía como también el estudio científico de las setas (Díaz, 2017).

La pertinencia de incluir en esta investigación a un artista predominantemente músico como Cage, obedece a que, si alguna manifestación artística tiene semejanza con los principios matemáticos, es la música.

En efecto, podemos ver toda clase de propuestas dentro del arte visual, y aún dentro de las tendencias más abstractas contamos con un producto de naturaleza material al cual señalar objetiva o subjetivamente por sus cualidades estéticas y/o artísticas. Pero no es el caso de la música, que por lo general solo puede ser apreciada a través de un proceso inasible y siempre dinámico como lo es el sonido.

Al igual que a los dos artistas revisados previamente, de Cage solo se revisará una parte de su proceso creativo, en específico lo que tiene que ver con su paso paulatino de la utilización del azar a la *indeterminación*⁴⁷, en el periodo que va de 1951 a 1957. La fuente mayormente utilizada en este apartado es el libro «The radical use of chance in 20th century art⁴⁸» (Lejeunne, 2012), excepto en los párrafos donde se indica lo contrario.

Hacia 1951 Cage ya tenía una amplia gama de métodos para componer música que se agrupaban alrededor del concepto del azar. Ese año compuso la pieza «Music of Changes» en gran medida apoyado en las consultas que hizo al *I Ching*.

El *I Ching* es conocido también como el «Libro de las mutaciones». Es un libro proveniente de la antigua sabiduría china que consiste en 64 hexagramas

⁴⁷ Cfr. subcapítulo...

⁴⁸ “El uso radical del azar en el arte del siglo veinte”

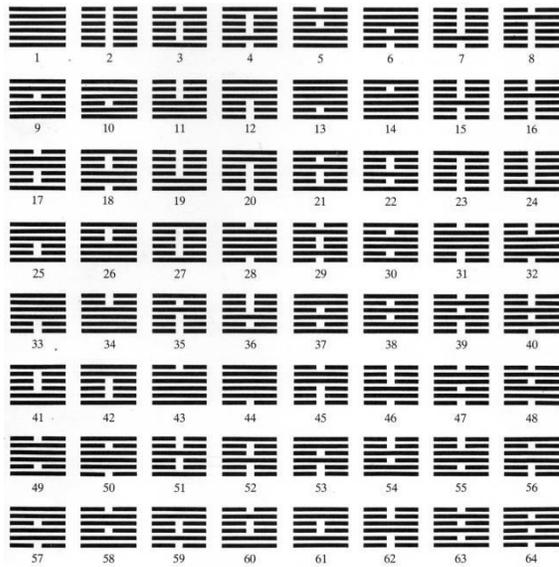


Figura 34. El I Ching

que contienen distintas respuestas preestablecidas a las que hay que acceder mediante el lanzamiento de tres monedas, (Fig. 34).

Cage creó su propia manera de consultar al *I Ching*, utilizando una sola moneda a la que lanzó 18 veces por cada hexagrama al cual quería consultar, lo que solo le

proporcionaba una mínima parte por vez de las notas y los tiempos que requería la pieza completa.

Otro proceso que Cage sumó dentro de la interpretación de los hexagramas del *I Ching* fue el factor de que, al estar estos generalmente impresos en cartas individuales, propiciaron que Cage agregara un mayor grado de aleatoriedad al permitir que la selección de los hexagramas redundara también en la elección entre ciertas gamas armónicas asignadas a la posición de cada carta del *I Ching*, pudiendo así seguir patrones de movimiento hacia arriba, abajo y a los lados.

Pero aún con todos estos mecanismos aleatorios, la estructura general de «*Music of Changes*» no dependió totalmente del azar, sino que al final corrió a cargo de las decisiones compositivas de Cage.

Otra obra de Cage por la que es mayormente reconocido es su pieza para piano «4'33"»⁴⁹ (también conocida como «Silence») interpretada por primera vez por David Tudor en 1952.

La pieza consiste en el ejecutante sentado frente al piano, en silencio, realizando únicamente la acción de cerrar y abrir la tapa del piano de acuerdo a la estructura dividida en tres partes de la pieza, que como lo describe su título, tiene una duración de cuatro minutos y treinta y tres segundos.

«4'33"» presenta un gran paralelismo con las pinturas completamente blancas de Robert Rauschenberg realizadas en 1951, por lo que se considera que John Cage tomó la inspiración de estas pinturas para la propuesta de su pieza (García, 2012).

Lo que Cage propuso en «4'33"» es que el silencio como parte de la obra musical no existe en realidad, pues realmente está compuesto por múltiples ruidos de naturaleza aleatoria sobre los que es imposible ejercer un control efectivo.

También en 1952 Cage compuso «Music for Carillon No.1», en donde aplicó el azar mediante otra metodología. En esta ocasión Cage dobló de manera arbitraria varias hojas de papel y luego las agujeró en algunas partes que se intersectaban. Después desdobló las hojas y dibujó distintas notas a través de los agujeros así creados. En su «Music for Piano» de ese mismo año, Cage volvió a recurrir a la perforación de hojas de papel, pero en esta ocasión hizo los agujeros allí donde encontraba imperfecciones en la superficie del papel. En ambos casos

⁴⁹ En español el título se enuncia como: «Cuatro minutos, treinta y tres segundos»

terminó confrontando las notas obtenidas con las permutaciones del I Ching para darles su notación final.

John Cage no terminaba de quedar satisfecho con su procedimiento, porque el azar quedaba supeditado a la etapa de composición, para luego convertirse en un proceso demasiado resuelto a la interpretación del ejecutante, quien solo se limitaba a seguir estrictamente las instrucciones mostradas en la partitura.

Es entonces que Cage incluye a la indeterminación como un elemento constitutivo tanto de la composición como de la ejecución. Para Cage la indeterminación funciona de manera que no tiene que decirle a nadie lo que se supone debe de hacer. En piezas como «For a pianist» de 1954 y en la de «For a percussionist» de 1956, los ejecutantes tienen la posibilidad de elegir la manera de preparar su instrumento o incluso la naturaleza del instrumento a interpretar.

Para 1957 Cage terminó de redondear su método compositivo en «Winter music», través de una partitura creada bajo sus propias normas, usando un tipo de notación que debido a su ambigüedad debía ser interpretada por el propio ejecutante, pero de manera acotada y dentro de ciertos límites dentro de los cuales tenía libertad para actuar bajo su propio criterio. Este procedimiento garantizaba que nunca pudiera interpretarse la misma pieza de igual manera.

John Cage aplicó sus estudios sobre filosofía Zen a sus composiciones, lo que lo fue llevando a tratar de liberarse de su ego y a conectarse de algún modo a

los ritmos naturales en donde nada se repite y todo está en constante movimiento (Díaz, 2017).

En años posteriores Cage también entró en contacto con la Teoría del Caos, a la que le atribuyó un sitio fundamental dentro de la naturaleza, pues la simultaneidad de distintos eventos daba la impresión de un desorden controlado por el azar. Pero la visión sobre la filosofía oriental de Cage precisamente le permitía aceptar este aparente desorden en lugar de tratar de controlarlo a la manera occidental ya que en la naturaleza el caos es la regla y no la excepción (García, 2012).

1.7.4.-Cómo el lanzamiento de una moneda puede generar la aparición de un atractor extraño

Con respecto a lo revisado en la obra de John Cage, él decidió utilizar de la manera más directa y obvia posible al azar dentro de sus composiciones musicales, lanzando repetidamente una moneda para no tener que recurrir al ejercicio de un criterio personal.

Pero aún este tipo de azar tan común puede dar sorpresas si se consideran secuencias largas de lanzamientos y un espacio de fases bien establecido, como en el caso del juego del Caos.

Este juego consiste establecer tres puntos iniciales dentro de un plano, formando los vértices de un triángulo equilátero, a los cuales se les denomina como 1,2 y 3. Luego se toma un dado común al que se deberán asignar cada cara a uno de los tres vértices del triángulo, debiendo convertir para ello al número 4 en

otro 1, el 5 en otro 2 y al 6 en otro 3, determinando de esta manera dos oportunidades de que aparezca cada uno de los tres vértices por lanzamiento. Se traza un punto cualquiera en el plano fuera del triángulo y se lanza el dado. Si sale 1 o 4, se marca la mitad de la distancia entre el punto inicial y el vértice señalado como 1, si sale un 2 o un 5 se marca la mitad de la distancia que hay con el vértice 2 y si sale un 3 o un 6 entonces se marca la mitad de la distancia con el vértice 3. Tomando como punto de partida al nuevo punto así marcado, se repite nuevamente la operación las veces que sea necesario hasta que se observe la aparición de un patrón conocido como *triángulo de Sierpinski*, mostrado en la Fig. 35.

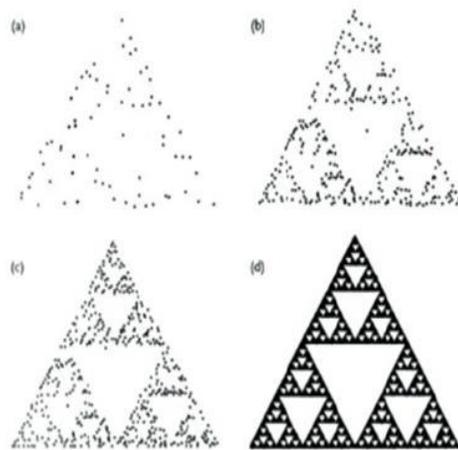
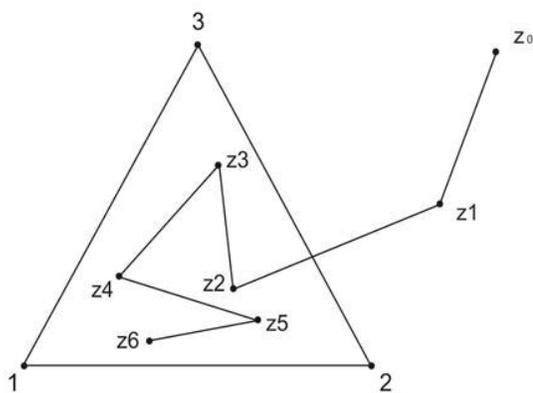


Figura 3.6b. La situación del juego después de 100, 500, 1.000 y 10.000 pasos.

Figura 35. El juego del Caos

El juego del Caos comprueba que la combinación de reglas simples y el lanzamiento de un dado puede llegar a generar objetos tan complejos como el señalado, todo debido a que este juego opera en torno a un atractor extraño escondido en las propias reglas del juego (Gribbin, 2006).

Si las reglas impuestas por John Cage a los resultados obtenidos al lanzamiento de sus monedas en conjunto con el «*I Chi*» encajaran en un algoritmo adecuado, posiblemente podrían llegar a formar una figura con características similares al triángulo de Sierpinski, es decir, una figura fractal con un vínculo con el Caos, pero desde luego esta posibilidad entra de lleno al terreno de la especulación. Lo que de alguna manera queda claro es que el uso de un algoritmo en conjunto con un factor de azar puede llegar a determinar un patrón fractal, e incluso un atractor extraño.

Otra cosa que influye en la manera de ponderar el trabajo de Cage reside en su perspectiva acerca de que en la naturaleza nada se puede repetir exactamente dos veces, situación que intentó recrear en sus composiciones al integrar elementos de indeterminación, lo cual lleva inevitablemente a enlazarlo con el atractor de Lorenz y la impredecibilidad del clima. Lo ideal sería comprobar si la música de Cage puede ser representada en un espacio de fases, pero desde luego esa es una tarea demasiado extensa que podría desarrollarse en una nueva investigación.

CAPÍTULO 2: LO ALEATORIO EN LA AUTOCONSTRUCCIÓN DE ABRAHAM CRUZVILLEGAS

2.1. El significado del azar y lo aleatorio en el arte objetual durante el transcurso del s. XX

Previo al inicio de la búsqueda de rasgos aleatorios en la obra de Cruzvillegas, y de acuerdo con el modelo utilizado aquí mismo con los otros tres artistas reseñados, se delinearán los elementos estilísticos y conceptuales que pueden identificarse con claridad en su autoconstrucción, y que indudablemente parten del hecho de asignarle a los objetos un valor y una función distintos de aquellos para el cual fueron creados inicialmente.

Para poder deslindar el significado de este tipo de acción particular dentro del campo del arte, se recurrió principalmente al libro de Simón Marchán Fiz «Del arte objetual al arte del concepto» (2001).

Según Marchán Fiz, el informalismo —estilo basado en la pintura abstracta y el automatismo psíquico—, comienza a agotarse hacia 1960, no sin antes dejar un legado en la representatividad pictórica en términos de una composición caótica y desordenada que sería aprovechada por movimientos posteriores.

En este informalismo se advierte la debilitación de la determinación del estado estético, lo que en consecuencia acerca a la obra artística al modelo caótico, donde los elementos simples se mezclan al máximo.

El número de estos elementos simples (complejidad) y el estado de determinación entre ellos (orden) definen al total de la obra, por lo que en el caso de un lienzo de Pollock, existe una máxima complejidad con un mínimo de orden, y a eso la crítica las denominó caos o aun-no-forma. En ese mismo orden de ideas, a estas obras les corresponde una entropía elevada como medida de su indeterminación. Lo que realmente importaba para los artistas era la experiencia y el acto de pintar más que la obra en sí misma.

Posteriormente se fueron instaurando ciertos tipos de orden que redundaron en la disminución del alto grado de entropía, utilizando grandes áreas de color uniforme, la monocromía, etc. A la larga estos intentos por darle un sentido más claro al informalismo acabaron por instaurar una nueva corriente a la que se denominó *nueva abstracción*. Los grandes formatos y los soportes físicos con forma irregular (*shaped canvas*) utilizados por los exponentes de la nueva abstracción, deben entenderse dentro de un contexto en el cual se trata de subrayar la naturaleza objetual del cuadro y debilitar su aspecto ilusionista.

Esta objetualidad del arte se refiere entonces a la manera en cómo ciertas tendencias han sustituido la representación de la realidad objetiva por la presentación de la propia realidad objetual del mundo de los objetos.

En principio el arte objetual puso en cuestión al objeto artístico tradicional, y se desbordó hacia la realización de acciones directas, como en el caso de los *happenings*, pero hacia principios de los setentas se presentó la doble postura de recuperar una vez más al objeto artístico tradicional por un lado y por el otro y más frecuentemente, la de tratar de superarlo e incluso desmaterializarlo a través del

arte conceptual. El azar también alcanza gran relevancia como principio compositivo de al menos una parte de estas manifestaciones, interpretándose como una vuelta a la vivencia de la naturaleza, prescindiendo para ello de su sentido matemático-físico y centrándose únicamente en el psicológico.

Como parte de estos cambios de paradigma, el principio *collage* es un recurso que Marchán Fiz documenta como una categoría artística que viene a substituir a la abstracción como principio que no imita la realidad, sino que la instauro⁵⁰. Nacido en el periodo cubista, el *collage* inaugura la problemática de las relaciones entre la representación y lo representado, de manera que "...el fragmento u objeto de la realidad pierde su sentido unívoco, con el fin de explorar la riqueza significativa..." (Marchan, 2001, p. 160). De esta manera el objeto es declarado arte.

Es entre 1912 y 1924 que se experimenta primeramente con el *collage*, y luego a través del *ready-made* y del *objet-trouvé*. El *collage*, de autoría cubista, surgió por el desagrado de parte de algunos artistas ante el ilusionismo fotográfico, prefiriendo insertar materiales reales en el ámbito del cuadro, no solo por su función referencial de representación, sino también por su posibilidad de metamorfosis y nuevas significaciones.

El *ready-made* tiene como su máximo representante a Marcel Duchamp a través de la ya mítica fuente de R. Mutt, en donde Duchamp recupera en el objeto su apariencia formal, pero exponiéndolo a una "...descontextualización semántica que provoca toda una cadena de significaciones y asociaciones..." (Marchán,

⁵⁰ El *collage* ya no funciona entonces como una referencia a otra cosa, sino como la cosa en sí.

2001, p. 161). De esta manera, y como consecuencia de elegir al objeto de uso común, asignarle un nombre y exponerlo en un museo, Duchamp libera a los objetos de sus determinaciones de utilidad y consumo y borra la diferencia con el objeto artístico tradicional, por lo que "...cualquier cosa puede ser motivo de una articulación artística..." (Marchán, 2001, p. 160). Pero ante todo, para Duchamp sus *ready-mades* entran de lleno a la categoría de una provocación artística en contra del objeto artístico burgués, y tal provocación ha sido entronizada al paso del tiempo como una expresión de arte por antonomasia.

El surrealismo continúa con la postura anti burguesa y antiartística de los dadaístas, ya no solo mediante el *collage*, sino también mediante el *objet-trouvé*, un procedimiento que utiliza al azar en el encuentro casual con objetos de los cuales se desconoce su fin y utilidad, o que incluso son rechazados cuando son encontrados para enfatizar su condición de reunión alegórica, ya que estos objetos al ser encontrados están liberados de toda determinación específica funcional y de todo residuo de operaciones racionales orientadas hacia un fin específico.

El surrealismo con su objetualismo enfatizó al azar como un tipo de relación individualizada entre el hombre y sus vivencias, como una elección inconsciente y a la vez como la conquista de un grado de conciencia distinto al cotidiano mediante asociaciones provocadas. Entonces el *objet trouvé* se convierte en algo encontrado y cambiado por casualidad, pero promovido por estructuras psíquicas que impulsan las vivencias, lo que implica entonces una aproximación a la realidad.

Queda por último analizar dentro de esta breve reseña el significado de otra de las propuestas configurativas del arte del siglo XX: el *assemblage*. Este se compone de materiales y fragmentos de objetos distintos, sin determinaciones utilitarias y sin una composición preestablecida, sino más bien agrupados de manera casual bajo el influjo aparente del azar.

Entre las particularidades del *assemblage* está la de preferir objetos industriales destruidos o solo algunos de sus fragmentos, de manera que la heterogeneidad resultante estimula una significación basada en la apreciación de las distintas partes independientemente del todo. Otra de las características del *assemblage* es la ausencia de marco o de pedestal, pudiendo ser colgado del techo, en la pared o estar colocado simplemente en el suelo, como cualquier otro tipo de objeto.

En los Estados Unidos aparece la estética del desperdicio como un intento de unir arte y vida, con el músico John Cage a la vanguardia de este tipo de pensamiento.

En lo general, *el assemblage* americano tiene como punto de referencia a Duchamp, más una influencia estilística del *action painting* y la poética del azar, pero sin la negación dadaísta del arte.

En resumen y según el enfoque de Marchán Fiz:

El arte objetual alcanza su máxima plenitud en sus posibilidades imaginativas y asociativas, libres de imposiciones, en el preciso momento en que el fragmento, objeto u objetos desencadenan toda una gama de procesos de

dación de nuevos significados y sentidos en el marco de su banalidad aparente (Marchán, 2001, pág. 168).

2.2.-Semblanza biográfica de A. Cruzvillegas

Abraham Francisco Cruzvillegas Fuentes es uno de los artistas mexicanos en activo mejor conocidos en la actualidad. Mucho de ello se debe a su concepto de *autoconstrucción*, eje conceptual sobre que aborda los contenidos de sus instalaciones o esculturas contemporáneas, como las ha llamado él mismo.

Cruzvillegas nació en la Ciudad de México en 1968, hijo de Rogelio Cruz Villegas Villegas, un pintor de artesanía indígena y docente originario de Michoacán, y de María de los Ángeles Fuentes Vera, comerciante y empleada en una instancia de los derechos humanos (Cruzvillegas, 2014).

En 1987 Cruzvillegas comenzó a estudiar pedagogía en la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM. Al mismo tiempo llevaba a cabo estudios extracurriculares sobre arte en seminarios, talleres y por medio de la práctica artística misma. También se unió a un grupo de varios amigos y colegas como Damián Ortega, Gabriel Kuri, Jerónimo López «Dr. Lakra», Gabriel Orozco, Eduardo Abaroa y varios otros más. El grupo se reunía todos los viernes en el taller de Gabriel Orozco, y de allí adquirió el nombre con el que se conoce: el Taller de los Viernes, un lugar de autoaprendizaje y colaboración (Cruzvillegas, 2014).

En 1991 concluyó el Taller de los Viernes, y Cruzvillegas comenzó a dar clases en la Escuela Nacional de Artes Plásticas de la UNAM, «La Esmeralda».

Pronto un nuevo espacio de discusión e interacción artística se fue gestando entre algunos de los integrantes del Taller de los Viernes, que luego de reunirse esporádicamente en casa de algunos de sus amigos terminaron estableciéndose en 1993 en una casa prestada por la curadora y promotora Haydeé Rovirosa, por entonces estudiante de Historia del Arte. El grupo decidió autonombrarse igual que el domicilio de la vieja casa: Temístocles 44 (Cruzvillegas, 2014).

Aunque T44 tuvo diversas actividades hasta 1995, Cruzvillegas desertó del grupo apenas un mes después de su inauguración para continuar sus carrera individualmente.

Para entonces Cruzvillegas ya tenía en su haber seis exposiciones individuales, entre las que destaca la de «Reciclaje», que montó en la galería El Departamento, en 1990, en la que utilizó material artesanal realizado por su padre al que reconvirtió mediante una desfetichización llena de humor (Abaroa, Orozco, Ortega, & Otros, 2016).

En el otoño de 2003, Cruzvillegas cambió su proceso y técnica de ensamblaje al comenzar a improvisar *in situ* con los materiales seleccionados en el lugar en cuestión, logrando con ello caracterizar a su trabajo con una estética intencionalmente inacabada (Abaroa et al., 2016).

La autoconstrucción como tema en la producción de Cruzvillegas comenzó hasta el año de 2007, en la *Jack Tilton Gallery* de New York, como una contingencia dinámica derivada de los procedimientos constructivos comunes, en la cual Cruzvillegas trabajó con materiales y bienes hallados al azar (Abaroa, et al., 2016).

En 2015 Cruzvillegas es elegido para realizar la primera comisión de una segunda serie de exhibiciones de la *Turbine Hall*, bajo el patrocinio de *Hyundai Motor* en la *Tate Modern* de Londres, con la curaduría de Mark Godfrey.

Esta comisión tiene el compromiso por mostrar una nueva postura en relación a la escultura contemporánea, semejante a lo que Cruzvillegas menciona a veces como instalación o intervención, así como un mayor entendimiento y definición del arte en la actualidad, enfocado en esta primera ocasión hacia el tema de la esperanza (Godfrey, Cruzvillegas, & Rangel, 2016).

Anteriormente la comisión *Turbine Hall* estuvo patrocinada por *Unilever*, bajo cuyo auspicio mostraron su trabajo artistas como Louise Bourgeois, Anish Kapoor, Doris Salcedo y Ai Weiwei (Angulo, 2016).

Actualmente Abraham Cruzvillegas vive y trabaja en la Ciudad de México.

2.3.-Visión general del objetualismo utilizado por Cruzvillegas dentro de su concepto de autoconstrucción

La principal razón de elegir como objeto de estudio la producción artística de Cruzvillegas por sobre otros muchos artistas visuales de la actualidad reside en el

carácter desordenado e improvisado de sus piezas, lo que da lugar a que inmediatamente se le relacione con el azar, tema clave para esta investigación.

Además de lo anterior, también se relaciona con la acción creativa a describir en el tercer capítulo, en lo que corresponde a la ejecución de una pieza original tridimensional, considerada a la vez como un constructo⁵¹ al que acuden a conformarlo tanto las premisas científicas sobre el azar como las propias influencias histórico-sociales del arte del aquí y el ahora, elementos de los que sin duda alguna echa mano Cruzvillegas en sus autoconstrucciones, y que intervienen de manera consciente o inconsciente en la obra artística contemporánea en general.

Aunque la obra de Cruzvillegas es en lo general desordenada en su apariencia, el intentar enlazarla con el paradigma de Caos no puede considerarse una tarea resuelta *per se*, pues no todo lo aparentemente desordenado tiene por qué tener un origen enraizado en el Caos⁵². No obstante, este tipo de trabajos también debe ser considerados como el resultado de procesos basados en leyes naturales, tales como la gravedad, el equilibrio, etc., de manera que, bajo un marco teórico adecuado, la obra podría terminar siendo un espacio de fases en sí mismo, un retrato más o menos fijo de los procesos y las intenciones subjetivas del artista, las cuales pudieron haber asumido el papel de un atractor extraño⁵³.

⁵¹ “...Constructos: puesta en marcha de oposiciones materializadas con fines de conocimiento y transformación...”(Abaroa et al., 2016, pag. 186).

⁵² Podría, por ejemplo, tratarse del acomodo minucioso e intencionado de elementos dentro de una instalación con la finalidad de que aparenten lo contrario.

⁵³ Cfr. subcapítulo 1.5.6.

Esto desde luego no puede sino complejizar el problema respecto al Caos sobre el que se busca contribuir a resolver aquí, pero es una posibilidad razonable ante la popularización de la idea de que la gran mayoría de los fenómenos observables en la realidad exhiben cualidades caóticas en mayor o menor grado.

Existe una consideración de peso a la que hay que trabajar ya no desde la perspectiva material, sino desde el plano semántico de la obra, y que consiste en que de alguna forma u otra Cruzvillegas ha moldeado su propia visión creadora con una ciencia del Caos ya totalmente validada y a su alcance, para poder incluirla (de así quererlo), como un aspecto de la realidad física reflejada en su obra, teniendo así la posibilidad de sumarla consciente o inconscientemente a una serie de posturas intelectuales y artísticas que han tratado al azar y la indeterminación como una parte importante de la estética de fines del siglo XX.

2.4.-La metodología de la autoconstrucción

Hay dos tipos de fuentes que se pueden consultar sobre la naturaleza del azar en la obra de Cruzvillegas: lo que él mismo declara y lo que los críticos de su obra establecen. Mark Godfrey es uno de los segundos.

El menciona que Cruzvillegas acumula en su estudio todo tipo de objetos, pero que no los recolecta por el encanto del *objet trouvé* a la manera de André Breton, ni lo hace de manera pre-intencionada como Gabriel Orozco en su «Proyecto Penske», cuando recolectó desechos de la construcción en las calles de Nueva York. Lo que según Godfrey hace Cruzvillegas es que "...sin tener un proyecto específico, lleva a su estudio materiales que no tienen ningún atractivo

particular, simplemente con la idea de que podrían tener alguna utilidad futura...” (Abaroa et al., 2016, p. 71).

Otra observación de Godfrey se refiere a las propiedades sintácticas de sus esculturas, a las que se refiere como *yuxtaposiciones estructurales*. De manera sencilla Godfrey explica que dos objetos entran en una relación estructural cuando entre ellos se aplican fuerzas opuestas e iguales para permanecer en equilibrio o de lo contrario colapsarían. En el caso de una yuxtaposición, dos o más objetos sin una relación sintáctica evidente se colocan juntos⁵⁴ para que el espectador piense acerca de lo que significa cada uno. Cruzvillegas realiza yuxtaposiciones enlazadas físicamente, de tal manera que al mismo tiempo crea también una relación estructural entre los objetos que componen la escultura (Abaroa et al., 2016).

¿Qué es lo que busca lograr Cruzvillegas con esta yuxtaposición estructural? De acuerdo a Godfrey lo que logra es transformar los objetos de ellos mismos, despojándolos del lastre del significado y reduciéndolos a sus cualidades de rigidez, forma, peso, etc., para por último lograr una identidad indeterminada reforzada por la sensación de inestabilidad de una estructura a punto de colapsar, materiales que se degradan por el tiempo, etc. (Abaroa et al., 2016).

El resultado al lograr esta inestabilidad en la identidad de los objetos utilizados en estas estructuras es obviar la importancia del proceso de aprendizaje y des-aprendizaje por sobre el producto obtenido, visto según Godfrey desde la

⁵⁴ Para el diccionario de la RAE, yuxtaponer significa “... poner algo junto a otra cosa o inmediatamente a ella...” Recuperado de <https://dle.rae.es/?id=cEW2uTp>

perspectiva de la pedagogía que Cruzvillegas estudió en la UNAM, pero se trata también de algo improvisado y en constante construcción, muy similar también a la manera en que él y su familia construyeron su hogar en el pedregal del Ajusco.

Godfrey cita a Cruzvillegas cuando afirma sobre el particular que:

Los materiales y técnicas empleados en la construcción fueron totalmente improvisados, usando lo que hubiera a mano [...]. Debido a que se construyó sin recursos y sin concepto arquitectónico [...], hoy la casa parece caótica, casi inútil, pero cada detalle, cada rincón tiene su lógica, su razón de ser (Abaroa et al., 2016, p. 76).

De acuerdo con la curadora Clara Kim, Cruzvillegas comenzó a utilizar el término de *autoconstrucción* en 2007, aludiendo a una práctica escultórica basada en la improvisación, un proceso de producción donde utiliza el término como herramienta formal y pedagógica (Abaroa et al., 2016). Kim cita a Cruzvillegas cuando afirma:

El concepto de autoconstrucción proviene de una dinámica de construcción de casas guiada por las necesidades específicas de una familia y por la falta de recursos económicos para construir una casa de una sola vez. [...] Las casas hacen visible el proceso por capas, lo que permite observar los estratos de experiencia, los cambios y nuevas necesidades. [...] Las decisiones estéticas se mezclan en un amontonamiento que demuestra también la habilidad de los constructores para usar cualquier material disponible (Abaroa et al., 2016, p. 62).

Por su parte, acerca de la elección de los materiales para sus esculturas, Robin Adèle Greeley puntualiza: "...Cruzvillegas trabaja con materiales y bienes hallados

al azar –bienes de consumo, orgánicos o del área de la construcción- en un proceso de apropiación inventiva a la vez posindustrial y artesanal...” (Abaroa et al., 2016, p. 377).

Adèle continúa escribiendo:

La inestabilidad de la obra hace aparecer cierto potencial para el caos, especialmente si nos acercamos demasiado; existe el riesgo de que las cosas caigan en cualquier momento, pero también podemos anticipar que tal destrucción o desorden pueda producir otra dinámica inesperada. O sea las obras de Cruzvillegas elaboran la precariedad como una tensión productiva [...], entre el desorden y la sistematización, [...] entre el pragmatismo y la imaginación, materializados como metáfora y como mecanismo estructural para la experiencia objetual. (Abaroa et al., 2016, pp. 378-379).

Algunas de las ideas más actuales y reveladoras acerca de la obra de Cruzvillegas provienen de la entrevista que Mark Godfrey le realizó en su casa del Ajusco en el 2015 con motivo de la inminente inauguración de su obra «Empty Loft», instalada en la Tate de Londres (Abaroa et al., 2016, pp. 448-503).

En este documento Cruzvillegas aclara muchas de las afirmaciones alrededor de su obra, volviéndola mucho más íntima y específica de lo que hasta entonces se hubiera podido suponer, pero consecuentemente la vuelve también más compleja al enfrentarla con sus propias declaraciones en etapas más tempranas de su carrera.

De esta entrevista y de las anotaciones anteriores de este mismo capítulo se extraerán las conclusiones acerca de si la obra de Cruzvillegas se relaciona con el azar y si se puede tender un puente con el Caos.

Cinco puntos importantes para tomar en cuenta de esta entrevista son:

1.-De la selección de los objetos utilizados en sus esculturas:

Abraham Cruzvillegas rechaza la comparación que en el pasado se hizo de él con un pepenador, es más, parece molestarle y hace hincapié de que él no es un carroñero. Afirma que él le solicita a las instituciones en donde va a exponer que se le dote de los materiales que utilizará sin entrar en especificaciones, en una especie de cita a ciegas. Sin embargo, también admite haber usado objetos que el encuentra en la calle, y que por algún motivo llaman su atención. Cuando es el caso, los compra, o de otra manera los recoge y los conserva sin pensar de antemano en su uso específico. Aun así, Cruzvillegas elude llamar a estos objetos *basura*, y mejor los califica como *objetos muertos* que han perdido su función y su uso. Al insistir Godfrey en el tema, Cruzvillegas recompone su respuesta anterior y la modifica atribuyéndoles a las personas el pensar que la basura son cosas muertas, pero que él por su parte piensa que todo está vivo para siempre.

2.-De la precariedad

Cruzvillegas responde a pregunta expresa de Godfrey que él no piensa que las personas dejen algún tipo de huella en los objetos que utilizan, algo de naturaleza espiritual. El más bien piensa en la *magia* de la precariedad, cuando la concientizas como el motor que mueve la creatividad y el ingenio, y también

señala que hay magia cuando se mezclan diferentes economías y tipos de producción, como el choque que ocurre cuando se enfrenta la artesanía y los productos de fabricación industrial.

3.-Sobre la combinación de posibilidades

¿Cómo es que Cruzvillegas realiza la combinación de los objetos para realizar sus esculturas? Él relata que se llegó a inspirar en la manera en que acomodan su mercancía los vendedores ambulantes, pero que había otras ideas interviniendo al mismo tiempo, como la posibilidad de trabajar sin descartar, seleccionar o elegir nada de lo que podía usar, lo que le llevaba a intentar distintas combinaciones y arreglos entre los materiales disponibles con la finalidad de que su obra tuviera un significado abierto.

4.-De la inestabilidad

Mark Godfrey pregunta a Cruzvillegas el por qué es tan importante para él la inestabilidad en sus trabajos, a lo que el segundo le contesta que se debe a que implica el recuerdo de su padre, Rogelio Cruz Villegas, quien sufría de distrofia muscular. Debido a esa enfermedad, Rogelio tenía que usar un bastón, y aun así sufría de caídas constantemente, lo que no le impidió llevar una vida social activa en su comunidad. A Cruzvillegas le afectó mucho no poder ayudar a su padre, pero de alguna manera esa imposibilidad la convirtió en un mensaje optimista implícito en la inestabilidad estructural de su trabajo: todo parece estar a punto de colapsar, pero no es así.

5.-De la autoconstrucción a la autoconfusión.

Como consecuencia de un agotamiento conceptual de la autoconstrucción, Cruzvillegas pensó que era necesario iniciar una autodestrucción, a lo que le seguiría un proceso de reconstrucción y finalmente, en el momento actual, lo que le sigue es la autoconfusión. Sin embargo, Cruzvillegas dice no estar siguiendo un desarrollo lineal de estos conceptos, sino que ocurren de manera simultánea y de forma caótica, solapándose de manera confusa y produciendo así más preguntas que respuestas.

No cabe duda que existe un nexo muy fuerte de naturaleza ontológica y personal entre el desorden y la obra de Cruzvillegas, lo que queda ilustrado a través de las propias palabras del artista cuando la escritora Annuska Angulo le comenta durante una entrevista para la revista «Gatopardo» que ella percibe mucho orden dentro de su casa, y que no ve caos en su obra, sino más bien equilibrio y lógica, a lo que Cruzvillegas repone:

Ese orden que ves viene de la neurosis. Lo digo como algo positivo, no me molesta, soy así, tengo esa tendencia a poner las cosas de determinada manera. Y eso no tiene ninguna explicación. Es como poner las reglas de un juego. Está armado y después no sabes lo que va a pasar. Eso es lo que a mí me provoca mucho. Me genera muchísima felicidad. Que tú pones un orden, una estructura que parece muy bien planteada, y después es un puto desmadre donde no sabes qué va a pasar en lo aleatorio, en el caos, es lo que a mí me interesa (Angulo, 2016, párr. 15).

2.5.-El papel del azar en algunas de las obras de Cruzvillegas

Abraham Cruzvillegas muestra muchos de sus pensamientos en forma autobiográfica en el libro «La voluntad de los objetos» (Cruzvillegas, 2014). Es en muchos sentidos un amplio temario acerca de su vida personal, de su aprendizaje y de las fuentes metodológicas para su propia obra. De este libro se extraen las citas mostradas a continuación, de las que interesa sobre todo entender la identificación sobre lo objetual y el azar que Cruzvillegas muestra en su obra.

Sobre esta, el propio artista expone que:

Individualmente he pretendido que mi obra esté compuesta de fragmentos que conservan su identidad, más allá de sus respectivos orígenes: Algunas veces son citas, otras veces glosas, a veces nada más simples y descarados plagios. Me interesa un empalme de recursos materiales y lingüísticos que puedan generar enunciados inestables, reorganizables, frágiles u quebradizos, transparentes, no invisibles. Collage, décollage, bricolage, détournement (Cruzvillegas, 2014, p. 238).

En otra parte del libro, al hablar sobre la obra de Roberto Turnbull, Cruzvillegas abunda en el sentido de que:

La recuperación de materiales de deshecho [...] busca señalar la cosidad real de las cosas en relación con la voluntad representacional [...]. En esa sinceridad concreta, las cosas dialogan entre sí y configuran reacomodos, reorganizaciones de la realidad, subrayando el aspecto fragmentario e indigente de nuestra percepción de la realidad. Entonces nos encontramos frente a un diálogo interno, en el que tal vez los elementos que componen una

obra en realidad nos observan [...], nos componen, nos inventan y finalmente nos incluyen en esa relación. (Cruzvillegas, 2014, p. 90).

De sus afecciones y metodologías Cruzvillegas hace una extensa lista de nombres sobre los que ha basado la suya propia, y en la que destacan personajes como Jimmie Durham, Piero Manzoni, Lucio Fontana, Marcel Duchamp, Bruce Nauman, Walter Benjamin, Kurt Schwitters, Sol Lewitt, Robert Rauchenberg, Gabriel Orozco, John Cage y Robert Fillou. (Cruzvillegas, 2014, p. 239).

De la metodología de este último en particular, Cruzvillegas escribe que:

Robert Fillou concibió en un principio sus modelos creativos a partir del koan y el haikú, de la brevedad y la ausencia de lógica –es decir, en la economía de recursos poéticos y la capacidad de delirio como método-, en combinación con una crítica antisolemne del arte, de sus modos de producción y su difusión y consumo, en un modo constructivo aleatorio fincado en el lenguaje como materia prima inagotable. (Cruzvillegas, 2014, p. 244).

En una primera cita concreta sobre el azar, Cruzvillegas evade tocar al tema de una forma personal, pero haciendo una alusión de su profunda filiación con lo creativo:

Cuando se habla del azar, de misticismo, de aleatoriedad y de intuición, he dicho también a mis alumnos, casi como quien reza el avemaría, que para hablar del delirio tendría que ser con herramientas delirantes y de un modo delirante, para lo cual hay que inventar una metodología rigurosa, un mecanismo de reloj. Delirante pero puntual. (Cruzvillegas, 2014, p. 235)

No obstante, en otra sección del libro, en donde habla sobre las características de la obra de Gabriel Orozco, Cruzvillegas escribe con un sentido mucho más objetivo y casi mencionando al Caos en su significado científico:

En la geometría de un buen número de obras se capitaliza la necesidad de organizar la realidad, de encontrar códigos arbitrarios que den sentido a la naturaleza, a la ciencia, al deporte, a las relaciones entre personas. Los patrones de crecimiento de una rama, las aristas de un mineral, la composición de una flama, el vaivén arrullador del agua, se contraponen con las ordenanzas y cánones impuestos por un cauce [...], con las dimensiones del espacio de un recipiente que puede contener a la realidad en su totalidad monstruosa. Una caja de zapatos vacía. (Cruzvillegas, 2014, p. 311)

En el mismo orden de ideas, Tom Morton cita otras palabras de Cruzvillegas cuando se refiere a la transformación aparente de los objetos dentro de sus esculturas:

Sin importar de qué forma el arte se haga evidente, seguirá siendo, por encima de todo, el material de origen crudo en sus estados naturales, inestables, físicos, caóticos y cristalinos: sólido, líquido, coloidal y gaseoso. Es la alegría de la energía. (Abaroa et al., 2016, p. 43).

Un aspecto primordial en las esculturas de Cruzvillegas se refiere al acto de equilibrio necesario para montar algunas de sus piezas más reconocidas, algo por lo que a sus esculturas se les relaciona con la precariedad, en el sentido de que parece que podrían colapsar en cualquier instante. ¿Cómo podría relacionarse entonces este tipo de equilibrio con el azar? La vía para este nexo podría estar en

la indeterminación desplegada por Cruzvillegas, ya que como se ha establecido anteriormente, él realiza sus ensambles *in situ*, por lo que la única manera de configurar una pieza en base al equilibrio es por ensayo y error, lo que hace realmente impredecible el aspecto de la pieza ya estabilizada. Cabe recordar que de acuerdo a lo establecido en el capítulo uno, la indeterminación no reside únicamente en el carácter impredecible de un evento, sino también en la imposibilidad de establecer un estado inicial. De esta manera, la improvisación actúa como herramienta configuradora dentro de un infinito campo de decisiones, un proceso al que Cruzvillegas le impone un límite por cuestiones prácticas, pero que sin embargo él, al igual que lo hizo Duchamp con el Gran vidrio, lo considera como algo definitivamente inacabable.

Hay en particular dos piezas de Cruzvillegas sobre las que resulta conveniente abundar en su descripción, ya que exhiben la interacción de fuerzas



Figura 36. «La curva»

dinámicas que confluyen en un proceso cuyo resultado está totalmente supeditado al azar.

La primera pieza es «La curva», obra emblemática realizada en 2003⁵⁵, y a la que la

⁵⁵ No obstante que la poética de la *autoconstrucción* fue adoptada públicamente por Cruzvillegas hasta el 2007, es posible encontrar rasgos de ella en esta pieza, por lo que se incluye aquí dada la relación evidente con el tema de la indeterminación.

curadora Paola Morsiani la describe como formada por el platillo de una batería, varias docenas de velas negras y rojas hechas de manteca animal y clavos (Fig. 36). Los clavos descansan en la superficie del platillo, que ha sido perforado para que puedan pasar las mechas de las velas y atarlas a los clavos. El conjunto de las velas se ha colocado sobre el piso y se ha derrumbado lentamente por efectos de la gravedad, arrastrando al platillo consigo. En conjunto, la pieza provoca confusión acerca de su proceso de fabricación, al causar constantes desplazamientos entre el *ready-made*, invención, objeto y proceso (Abaroa et al., 2016, p. 34).

De acuerdo con lo hallado a través de esta investigación, «La curva» presenta una evidente imprevisibilidad con respecto al aspecto que tendrá cuando las fuerzas naturales terminen en un estado de equilibrio final, en donde el peso y el calor agoten su potencial de generar cambios visibles, y en donde a cada posición inicial de la obra corresponderá una serie infinita de estados finales dentro del proceso de entropía a que ella misma refiere. Por sus características, se trata este de un proceso dinámico que fluye lentamente, y es seguramente factible a ser representado dentro de un espacio de fases. Siendo así, se podría encontrar dentro de la aparente aleatoriedad de su movimiento un atractor extraño que rigiera el lento colapso de las velas, y le proporcionara un interés añadido en tanto objeto artístico.

La segunda pieza a reseñar fue presentada en la ciudad alemana de Kassel, durante el festival de arte contemporáneo Documenta (13) del 2012.

En esta ocasión es Andrew Berardini (Abaroa et al., 2016) quien se encarga de describir esta acción/escultura, que se trató de lo siguiente:

Abraham Cruzvillegas decidió presentar varios eventos improvisados determinados por un mecanismo de selección diseñado por él mismo, en el que asignó un color a cada una de treinta y cuatro ideas sobre las que su trabajo se desarrolló durante veinticinco años, principalmente alrededor de su concepto de autoconstrucción. Comparando los colores de un catálogo de pinturas de casas y los nombres que se les daba allí, cada una de las treinta y cuatro ideas se renombra por casualidad, de tal manera que su concepto «Inestable» se le atribuye al cidro (un tipo de naranja), «Autoconstruido» es oro, «definitivamente inacabado» es carrusel y así sucesivamente, una auténtica abstracción (Fig. 37).

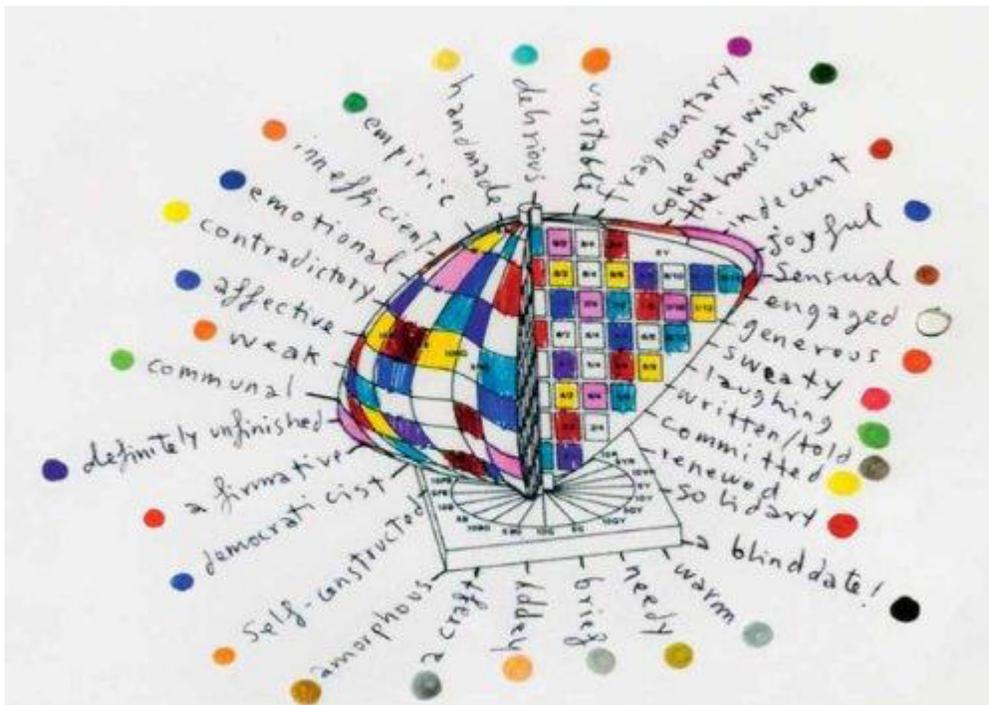


Figura 37. Esquema de asignación de significados arbitrarios a un grupo de colores seleccionados aleatoriamente por A. Cruzvillegas

Después de eso Cruzvillegas pintó un juego modificado de *Mikado* (que es el nombre en alemán para los palillos chinos) con todos los colores de su lista y luego los fue tirando al azar por la calle, hasta quedarse con dos o tres palillos, que es de donde surgiría finalmente el concepto rector para su acción/escultura, pudiendo ser (por ejemplo), un *día de campo/ afirmativo*, un *rehilete /comunitario* u otras combinaciones posibles.

No hay duda de la presencia del azar en esta acción que finalmente presentaría Cruzvillegas en Documenta 13, pero es difícil señalar la posible presencia de un atractor extraño o la de un patrón fractal debido sobre todo a la influencia del factor humano al seleccionar los palillos y asignarle una simbolización, un factor que a pesar de las apariencias sigue descansando en un acto relativo a la psiquis y que aún está lejos de ser descifrado, por lo que conserva todavía mucho de aquel misterio que los surrealistas le adjudicaron a sus procesos creativos basados en el subconsciente.

2.6.-«Empty lot»

Queda solo por reseñar en este segundo capítulo una tercera obra de Cruzvillegas, y que es la que ha tenido más renombre en los últimos años: «Empty lot» (terreno baldío).

Ya se ha mencionado al principio del capítulo que esta escultura monumental se realizó en la *Turbine Hall* de la *Tate Gallery* en Londres, Inglaterra, de octubre de 2015 a marzo de 2016. Para su análisis se recurrirá al contenido de

la segunda parte de la entrevista que Mark Godfrey le realizó a Cruzvillegas en 2015 en la ciudad de México (Abaroa et al., 2016).

«Empty lot» consistía en dos plataformas separadas por una pasarela central, cuyas superficies sostenían a 243 contenedores con tierra proveniente de unos 35 lugares como parques, jardines públicos y privados y otros lugares de la ciudad de Londres. Los contenedores tenían una forma triangular y se yuxtaponían de forma regular para ocupar todo el espacio disponible (Fig. 38). La tierra fue regada regularmente con agua y se mantuvo una iluminación constante con el fin de favorecer la aparición de la vida vegetal, pero sin haber sembrado antes nada en ella.



Figura 38. «Empty Lot»

Cruzvillegas afirma que la primera relación obvia de su trabajo es con las chinampas que los aztecas construían para cultivar sus alimentos, ya que «Empty lot» también está constituida por parcelas de tierra flotantes, en el sentido literal de

estar sostenidas por una serie de andamios sobre el nivel del piso de la sala de exhibición.

Otra referencia muy concreta que menciona Cruzvillegas es la relación de la forma triangular de los contenedores de tierra con la cubierta geodésica de un mercado que el gobierno de la Ciudad de México construyó para beneficio de los habitantes del barrio del Ajusco, y en donde la madre de Cruzvillegas tenía una tienda. La cubierta del mercado está hecha con secciones triangulares, y esa imagen quedó grabada en la memoria de Cruzvillegas, al igual que la experiencia que tuvo de haber crecido allí, por lo que el significado de las formas triangulares en «Empty lot» va más allá de lo puramente geométrico.

Lo más importante para esta última sección del capítulo tres es tratar de encontrar el elemento de azar en «Empty lot», y no está donde comúnmente se solía encontrar en las esculturas de Cruzvillegas, ya que en esta ocasión no se le permitió utilizar restos reciclados como soporte de su autoconstrucción, y por lo tanto no hubo de entrada un ensamble *in situ* fundamentado en el azar.

Lo que si hubo fue una especie de improvisación con el tema de la recolección de la tierra que luego fue vertida en los contenedores triangulares, ya que fue sugerencia del curador Mark Godfrey que proviniera desde distintos parques de Londres, formando así una suerte de mapa no figurativo de esa ciudad.

Lo que Cruzvillegas buscaba es que creciera algo a partir de nada, asociar el crecimiento aleatorio de las plantas con la esperanza, dependiendo en gran

medida de lo que pudiera incluir la tierra a la hora de recolectarla. Y no solo eso, sino que la aparición de vida vegetal dependería también de la colaboración no concertada con los propios visitantes a la exposición, en el sentido de que algunos de ellos podrían arrojar semillas desde su punto de observación sobre el puente, proveyendo de esta manera la intervención activa del espectador para completar el sentido de la obra.

Una pieza de Cruzvillegas de este calado no podía quedar sin rasgos de la autoconstrucción que lo llevó tan lejos en su carrera, así que la manera de resolver el asunto sin violar los estrictos reglamentos ingleses fue a través de la integración de algunos postes de madera y restos de construcciones locales, disponiendo de ellos para improvisar varias luminarias, y otros desperdigándolos a lo largo y ancho de las plataformas, ensamblándolos al fiel estilo de Cruzvillegas.

En «Empty lot» coexisten varios niveles del azar, destacando el tema de la indeterminación: nadie podía saber si había semillas germinables en las muestras de tierra ni si estas podrían prosperar dentro de un ambiente controlado, ni tampoco si los espectadores se atreverían a lanzar semillas por su cuenta. Lamentablemente este tipo de decisiones son muy difíciles de sistematizar y de llevar a un espacio de fases, pero eso no quiere decir que sea imposible a futuro el poder lograrlo.

Algo que no pudo conocerse en esta investigación, es si la selección de los cuadrantes urbanos de donde se extrajo la tierra tuvo un proceso de selección a través de un método aleatorio como el que utilizó Cage a través de una moneda, o mediante un dado como en el caso del juego del Caos, lo que lleva a concluir que

la información disponible no es suficiente para determinar si existe o no un nexo objetivo y mensurable entre el azar y la teoría del Caos en este aspecto particular de «Empty Lot». Por otra parte, se observan varios otros rasgos que sí remiten en parte al Caos, como lo son las distintas esculturas con restos de materiales que Cruzvillegas realizó a través de una poética coherente con el concepto de autoconstrucción (emergencia, equilibrio precario, etc.). También está la geometría sobre la cual se le dio forma a los contenedores triangulares para la tierra, los cuales replican la silueta de un triángulo mayor en aparente congruencia con sus proporciones, lo cual los vuelve un ejemplo claro de aplicación de la autosimilitud.

Aunque Cruzvillegas ha seguido trabajando en otros proyectos, no hay hasta el día de hoy otro que se compare en dimensión física al de «Empty lot». Los alcances de esta investigación, por otro lado, no buscan dar un seguimiento a la trayectoria de Cruzvillegas posterior a esta enorme escultura-instalación, por lo que las conclusiones acerca de la relación propuesta entre el Caos y algunas de las obras de este artista mexicano se harán patentes hasta el término de la exposición del capítulo tres.

CAPÍTULO 3:

DESARROLLO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO PARA UNA INSTALACIÓN QUE UTILIZA EL CAOS COMO ELEMENTO CONFIGURATIVO

Esta última parte de la presente investigación consiste en el análisis minucioso de una propuesta para una instalación, que por un lado se configura semánticamente a través de una serie de procesos relacionados con el azar y la teoría del Caos, y por otra parte explora sintácticamente las posibilidades que el campo de la electrónica le brinda al artista contemporáneo al proporcionarle herramientas tecnológicas y las posibilidades expresivas implícitas en ellas. De esta manera un objetivo específico para esta instalación es la de asumirse como un constructo teórico-práctico dentro un proceso de investigación sobre lenguajes estéticos.

Para el caso, se hace uso de la autogestión como una manera de adquirir a través de internet los conocimientos sobre electrónica que el proyecto requiere, y también como un eje conceptual para crear la pieza artística. Esta metodología busca también hacer eco al concepto de autoconstrucción del artista visual mexicano Abraham Cruzvillegas, una línea de creación en la que toman parte la emergencia y la improvisación, dos procesos sumamente significativos dentro de las directrices adoptadas por el presente trabajo de investigación, a saber, la interacción entre el azar y la praxis del arte, y la develación del primero como un fenómeno determinista reivindicado por el Caos.

Ya que la instalación en tanto pieza terminada que justifica la adición de este capítulo no ha sido realizada al cien por ciento, se incluye aquí solo la parte

experimental del proceso que se llevó a cabo durante un periodo de seis meses, y que fue registrada a través de una bitácora. También se incluye la descripción del material necesario para ciertos procedimientos que no pudieron ser trabajados dentro del periodo de seis meses, pero que deberán llevarse a cabo como parte de la pieza final.

Otro objetivo específico para esta instalación fue la de ponderar el origen de los elementos subjetivos que nacen en la mente del creador y nutren al proyecto artístico, registrándolos a través de una metodología muy detallada que permitió clarificar cómo es que surgió la idea para realizar esta instalación alrededor de la idea del Caos, y como este planteamiento contrasta con otro tipo de propuestas artísticas realizadas por exponentes del arte visual de los siglos XX y XXI, que asumieron la parte indeterminada o accidental de su obra como un aspecto particular del azar en tanto fenómeno contrario a la ciencia determinista.

En cambio, la visión general de la pieza aquí delineada busca mostrar la manera en que un conocimiento suficiente sobre la epistemología del Caos puede influir acerca de la verdadera naturaleza del azar dentro de la conformación de una pieza artística contemporánea.

Tanto el proceso de la producción material como el contenido semántico de la instalación fueron llevados a cabo de acuerdo a un proceso de diseño propuesto por R. Fuentes (2005), y luego ampliadas y profundizadas a través del desarrollo de las fases para la concreción de un producto creativo, una metodología ampliamente utilizada por C. Villagómez en su propia investigación sobre los procesos de producción en el arte con el uso de la tecnología (2015).

3.1.-Modelos metodológicos

3.1.1.-Proceso de diseño

Como parte de la ejecución de toda obra de arte visual, se requieren una serie de pasos para llevarla a cabo, entendiendo que ninguna idea se puede materializar si no se ha hecho un examen preliminar de lo que se quiere plasmar o cuando menos disponer de los medios materiales para hacerlo.

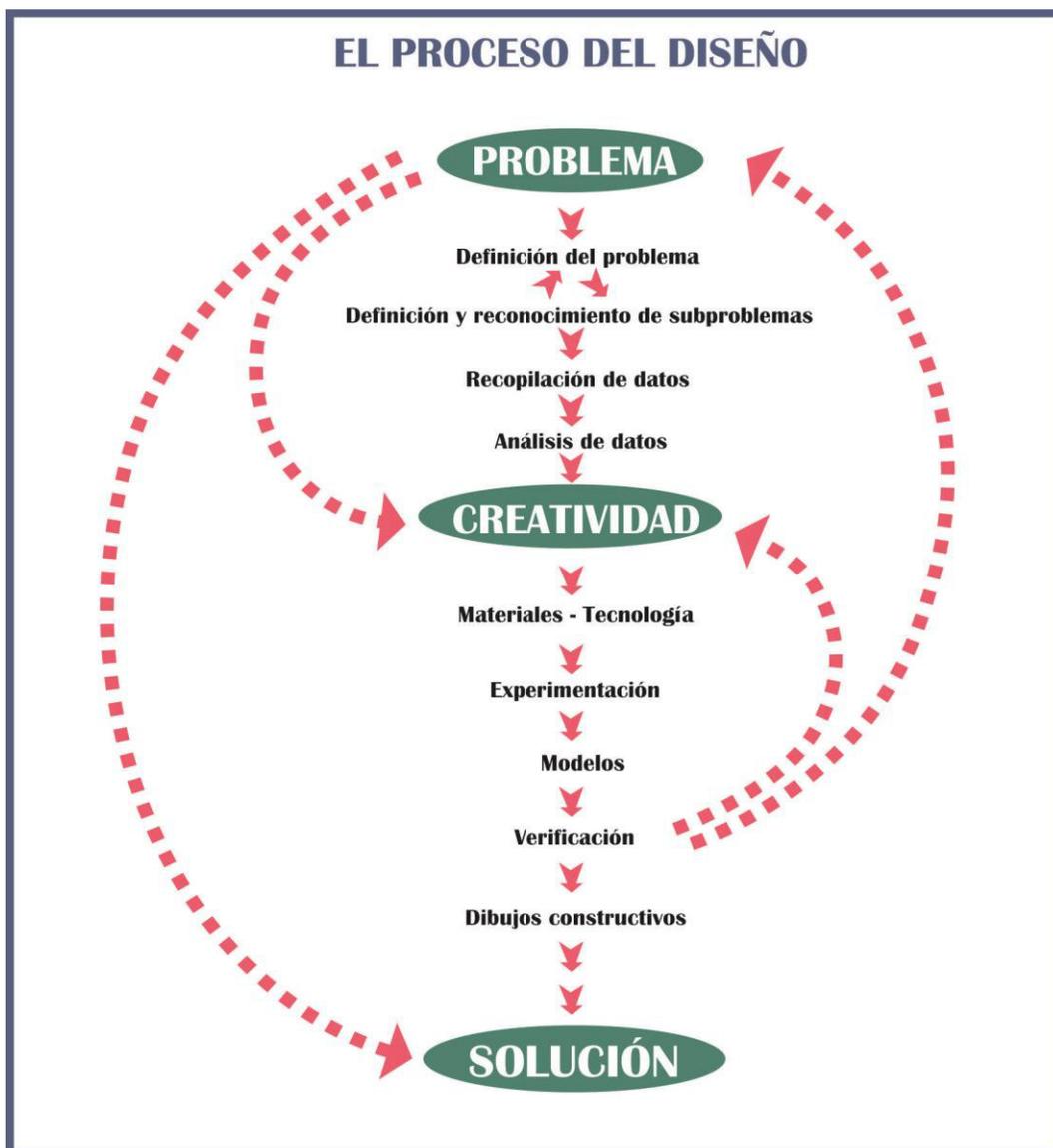


Figura 39. Los distintos pasos dentro del proceso del diseño

En ese sentido se incluye un esquema que forma parte del libro «La práctica del Diseño Gráfico» (Fuentes, 2005), que muestra una serie de requerimientos metodológicos para llevar a buen puerto un proyecto de diseño, y que con las debidas adecuaciones se puede también aplicar en la ejecución de una obra artística (Fig. 39).

En «Los conceptos esenciales de las Artes Plásticas» (2011), Juan Acha nos indica que al igual que las artesanías y los diseños, las artes forman parte de un grupo de sistemas culturales creados por el ser humano, que se caracterizan en particular por interactuar alrededor de un sistema axiológico o de valores, constituido este por un grupo de categorías estéticas percibidas mediante la facultad humana de la sensibilidad. La diferencia entre los tres reside entonces en el grado de practicidad y nivel sensitivo que aplica cada uno de ellos en sus respectivos productos.

Basados en la afirmación de Acha, se procederá entonces a resolver parte por parte el modelo metodológico ilustrado en la Fig. 33, ya que aun cuando este modelo fue concebido originalmente para su aplicación en proyectos de Diseño Gráfico, su delimitación clara y precisa encajó de manera óptima con los propósitos perseguidos a través de este capítulo

La información necesaria para resolver cada uno de los apartados del modelo comparte tanto proyecciones a futuro como algunos resultados parciales obtenidos durante un tiempo limitado a seis meses, periodo durante el cual se tuvo acceso a los recursos necesarios para desarrollo de esta investigación.

A) EL PROBLEMA

I.-Definición del problema:

En este caso, el problema consiste en la conceptualización, justificación y realización de un proyecto artístico como parte del desarrollo de una investigación sobre lenguajes contemporáneos de las artes visuales.

II.-Definición y reconocimiento de subproblemas:

La finalidad última de la instalación es evidenciar la intervención de procesos aparentemente aleatorios, pero realmente afines con un tipo de fenómenos relacionados con la teoría del Caos.

III.-Recopilación de datos:

Se indagará sobre las bases teóricas y experimentales que sustentan la teoría del Caos, así como también sobre el contenido conceptual de la obra de algunos artistas (principalmente el caso del mexicano Abraham Cruzvillegas) que han utilizado el azar como recurso técnico expresivo.

IV.-Análisis de datos:

Se ahondará en las características materiales y conceptuales de las obras seleccionadas en el punto III, con el fin de aclarar si realmente se trata de aplicaciones basadas en el azar o en el Caos.

Los descubrimientos de esta etapa servirán como un marco teórico de contraste respecto a la solución práctica elaborada al final de este planteamiento metodológico.

B) CREATIVIDAD

V.-Materiales – tecnología

El proyecto consistirá en una instalación en la que se yuxtaponen elementos vivos (peces), y objetos inertes dotados de movimiento y reacciones sonoras a través de dispositivos electro-mecánicos.

VI.-Experimentación

Se utilizarán elementos electrónicos ensamblados mediante instrucciones encontradas en la WEB en fuentes de libre acceso, sobre todo en canales de YouTube. Se probará crear una serie de sensores de movimiento que interactúen con la dinámica de varios peces vivos. Las señales de los sensores activarán el movimiento de distintos motores y mecanismos dependientes entre sí para generar un goteo de agua audible al espectador, propósito final y más importante de la instalación. Los experimentos tenderán a lograr un mecanismo confiable en cuanto su funcionamiento y seguro para los peces, que pueda resultar en la develación del Caos a través del goteo como un fenómeno vinculado a la operatividad de la obra de arte.

VII.-Modelos

Los disponibles en recursos bajados de la WEB según se vayan requiriendo en la conformación paulatina de la instalación. Esto con la intención de respetar los parámetros conceptuales relativos al azar y la improvisación implícitos en el contenido de la obra. Estos modelos se construirán primero sobre un tablero de prototipos electrónicos o *protoboard*.

VIII.-Verificación

Se comenzó a comprobar el funcionamiento real de un sensor de movimiento con resultados exitosos. Los resultados fueron registrados mediante video y fotografía para su posterior integración a la investigación final.

IX.-Dibujos constructivos

Se irán generando a medida que el proyecto lo requiera. Por el momento se incluyen en este capítulo el de la propuesta inicial del proyecto y otros para esquematizar el montaje de varios circuitos electrónicos en una *protoboard*. Posteriormente se diseñará una placa definitiva donde se soldarán los elementos electrónicos en una versión comprobadamente funcional del sensor de movimiento.

C) SOLUCIÓN

La observación y cumplimiento de todos los puntos anteriores deberá posibilitar una serie de conclusiones acerca del papel del azar en las propiedades ontológicas y epistemológicas de una obra artística visual, y las consecuencias de reinterpretarlo (siempre y cuando proceda), como un fenómeno determinista perteneciente al campo de estudio de la Teoría del Caos.

3.1.2.-Desarrollo de las fases para la concreción de un producto creativo

Una vez que se ha especificado lo que se quiere lograr siguiendo los pasos del modelo metodológico de R. Fuentes, lo que sigue es profundizar en el cómo y el porqué del proyecto. Esto se logra a través de un proceso de indagación personal, el cual sigue una serie de pasos o fases destinados a contextualizar las actividades subjetivas realizadas por el artista como parte del *corpus* general de la obra, es decir, a develar el *sine qua non* del dispositivo en cuanto pieza artística genuina.

Las fases descritas a continuación se tomaron de la tesis doctoral «Análisis de procesos de producción artística digital en México: artistas digitales mexicanos y su obra» (Villagómez, 2015). Una de las razones para haber elegido esta metodología es su afinidad con la naturaleza del proyecto llevado a cabo a través de este capítulo, ya que se desarrolló a través del estudio de casos en donde la tecnología basada en la electrónica colaboró de manera primordial en la realización de la obra artística.

Los pasos a seguir según este modelo son:

I.-Contexto. Lo que ha vivido el artista en relación al proyecto.

II.-Preparación. Definir la tarea, recopilación de la información necesaria.

III.-Incubación. Precedentes directos del proyecto definitivo

IV.-Intuición. ¿Qué se hizo para que llegara la idea o *insight*?

V.-Evaluación. ¿Cómo saber si la idea es valiosa o no?

VI.-Elaboración. ¿Cómo se va a hacer la obra?

VII.-Comunicación. ¿Cómo se va a dar a conocer la obra?

Enseguida se procederá a la aplicación de cada uno de los pasos anteriores, bajo la premisa de que al tratarse de un ejercicio de introspección de quien lo relata (objetivado a través de una bitácora personal), entonces esta relación se hará ocasionalmente en primera persona, aún y cuando no siga el estilo general del resto del documento, por lo que se resaltarán el texto en itálicas cuando se presente el caso y así evitar una lectura confusa.

I.-CONTEXTO

La instalación que forma parte del presente proyecto de Maestría es como una oportunidad para retomar gustos personales que se remiten a mi niñez, pues la tecnología doméstica me causaba una gran curiosidad acerca de los principios científicos que la hacían funcionar, en especial en lo referente a la electrónica.

Poco a poco fui aprendiendo de manera autodidacta los principios básicos con los que opera la electricidad, no sin lograr en ocasiones la destrucción de algunos aparatos electrodomésticos.

Una experiencia importante para estimular mi afán creativo-constructivo fue observar y ayudar a mi papá cuando reparaba el auto familiar, ya que fueron muchas las sesiones a su lado ayudándole a pasarle las herramientas que necesitaba para lograr hacerlo rodar. La mecánica se le facilitaba bastante, y eso es algo que sin duda me heredó a mí.

No menos importante fue la influencia ejercida por parte de mi tío paterno al que llamábamos “padrino”, sacerdote católico de amplios merecimientos. Al igual que a él, a mi encantó leer desde niño, desde los clásicos hasta las enciclopedias, todo lo que llegaba a mis manos lo devoraba de inmediato.

Al notar mi interés, padrino decidió proporcionarme varias colecciones de libros de los más variados, sobre todo enciclopedias, con los que nutrí mi intelecto la mayor parte de mi niñez y mi adolescencia.

En tanto aprendía ciencia de manera autodidacta, fueron apareciendo también mis cualidades artísticas, que surgieron espontáneamente cerca de los siete años de edad a través del dibujo y la pintura, mismos que fueron moldeando mis intereses personales, dirigiéndolos hacia el campo de las artes visuales y el diseño.

Al paso del tiempo, inicié una modesta producción de dibujos que de vez en cuando vendía o exponía en los espacios públicos de la ciudad, en lo que fueron mis inicios como artista visual.

En el año 2010, ya con 40 años vividos y una familia propia, busqué terminar mis estudios profesionales que había dejado truncos por falta de recursos económicos, e ingresé en la carrera de Artes Plásticas en la Universidad de Guanajuato, un campo de actividad que el fondo había sido siempre una inquietud personal muy fuerte, y en donde surgió la oportunidad de llevar a cabo la Maestría en arte de la que es parte este trabajo de investigación.

II.-PREPARACIÓN

En el año de 1993, la revista «Ciencia y Desarrollo» editada por CONACYT, publicó un artículo sobre la Teoría del Caos, donde se explicaban los orígenes de este campo matemático y su desarrollo a través de los años. También abordaba el tema de la turbulencia en los fluidos, pieza angular para el desarrollo metodológico del Caos.

Para ser honesto no entendí muchos de los términos científicos a que alude el Caos, pero quedé impresionado ante la contradicción de que no podía predecirse el comportamiento a futuro de un remolino en el agua, y sin embargo había la certeza de que en ese aparente desorden subyacía un patrón bien definido. En pocas palabras: había un orden en el Caos.

Eso me llevó a preguntarme veinte años después qué tan posible sería considerar a la parte material de una producción artística no solo como el resultado de un proceso interior y una técnica de aplicación, sino también como el efecto de dinámicas relacionado con ciertos fenómenos físicos ajenos a las intenciones del artista, que si bien no determinarían por sí mismas la esencia de la obra, sí podrían definir algunos de sus cualidades estéticas por medio del comportamiento aparentemente aleatorio de sus materiales, oculto a simple vista, tal y como lo describe la teoría del Caos.

Para el problema planteado en el párrafo anterior, se pensó que un enfoque adecuado sería el de considerar al Caos como un puente entre las múltiples soluciones posibles y lo finalmente concretado materialmente a través de las decisiones del artista, pero sumados a la ocurrencia de ciertos fenómenos observables denominados *accidentes controlados*, y que por lo general son atribuidos a los influjos del azar.

III.-INCUBACIÓN

¿Cómo es que se unieron la teoría del Caos y la propuesta de una instalación como parte de un proyecto de investigación?

Considero que el inicio de la incubación de proyecto tiene que ver con una clase de Estética que tuve dentro de la Licenciatura de Artes Plásticas hace unos siete años (~2010), en la cual los alumnos presentamos trabajos con la intención de defenderlos como obra artística, basando su justificación conceptual en el contenido visto en clase sobre los textos de Schopenhauer.

Mi pieza buscaba reflejar la comunicación inmaterial entre el artista, la obra y el espectador, para lo que utilicé tres vasos de plástico agujerados que al llenarlos con agua goteaban hacia tres respectivas ollas metálicas (Fig. 40).

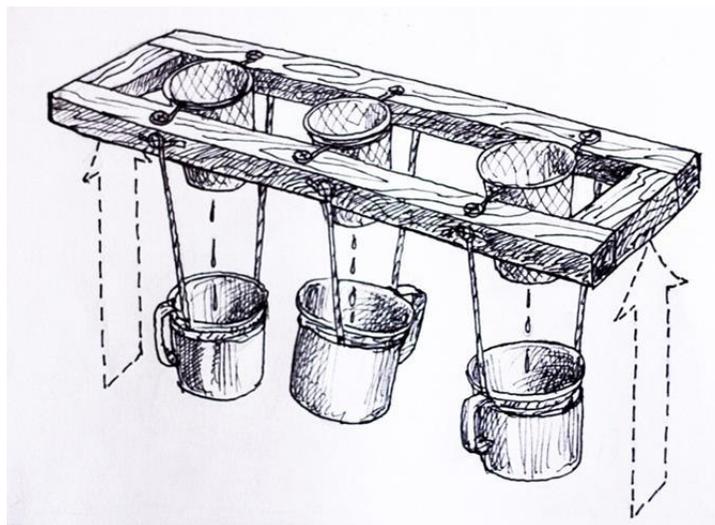


Figura 40. Representación esquemática de la pieza «Sincronía». Constaba de un marco de madera ya muy deteriorada por la intemperie, vasos desechables agujerados en la base y sujetos al marco mediante alambre recocido y tornillos. Agua contenida en los vasos fluía lentamente a través de los agujeros a tres cacharros metálicos, amarrados al marco mediante cuerda de yute. El marco era sostenido mediante el respaldo de dos pupitres del aula de clase donde indican las flechas punteadas, pero fueron omitidos para simplificar la imagen.

Siguiendo la línea conceptual de mi propuesta, era casi imposible determinar a simple vista una coincidencia exacta entre los tres goteos, pero el sonido en cambio, funcionaba de mejor manera, ya que la coincidencia se manifestaba como si se escuchara la caída de una sola gota en lugar de dos o de tres. Así fue como ejemplifiqué la ocurrencia de la experiencia estética, y titulé esa pieza como «Sincronía».

Durante el resto de la licenciatura seguí explotando el concepto, llevando a cabo al menos otras dos piezas con características parecidas.

Una de las piezas arriba mencionadas consistió en una imagen GIF reproducida en tres monitores de computadora al mismo tiempo, dando la impresión de que se trataba de varios personajes parecido a un caracol viajando de un monitor a otro (Fig. 41).

Al igual que en «Sincronía», se trataba de sugerir el paso de la experiencia estética (la figura humana-caracol) entre el artista y el o los observadores (los monitores). La pieza se tituló: «Sincronía No. 2».



Figura 41. Recreación digital de la pieza “Sincronía No. 2”

La segunda pieza, tercera de la serie o «Sincronía No. 3», pretendía servir como proyecto de titulación, y consistió en la propuesta de una videoinstalación con una configuración basada en un arreglo de nueve monitores de televisión que debían exhibir un desnivel muy evidente respecto a la horizontal.

La razón de esta configuración fue la buscar un cierto distanciamiento del trabajo de los grandes expositores del videoarte, como el caso de Bruce

Nauman⁵⁶, considerando a la inclinación de los monitores como una aportación original de la pieza, y constituyendo además un elemento que incidía en la interpretación global de la videoinstalación.

Los monitores en «Sincronía No. 3» proyectaban imágenes de video capturadas a través de una cámara digital estándar a la cual se le ajustó el ocular de un telescopio con un poder de magnificación de 10x. Las imágenes se intercalaban, mostrando detalles amplificados de una realidad cotidiana capturada sin un plan predeterminado, al azar, combinándose de cuando en cuando con la imagen segmentada de una pecera, hasta que al paso del tiempo todas las pantallas mostraban solo el agua de la pecera en diversas secciones (Fig. 42).

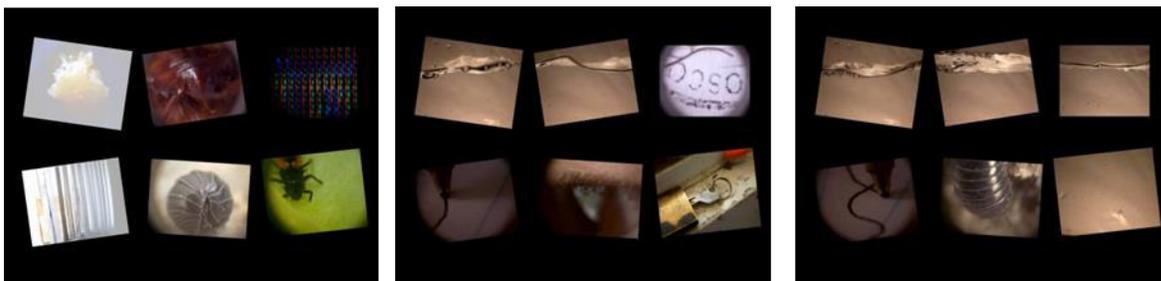


Figura 42. Capturas de pantalla del video «Sincronía No. 3». La parte superior de esta gran pecera virtual mostraba al final de la reproducción el nivel del agua horizontal a pesar de la inclinación de los monitores.

El proyecto solo se realizó parcialmente, por lo que la pieza no fue dada a conocer al público en general, aunque sí se realizó el registro fotográfico del montaje en los anexos de la Escuela de Artes en Guanajuato (Fig. 43).

⁵⁶ Artista multimedia norteamericano, n. en 1941



Figura 43. Montaje para revisión de examen final del proyecto “Sincronía No. 3”

Una vez graduado, decidí volver a la universidad para hacer el examen de ingreso a Maestría con la propuesta de una videoinstalación y otras estructuras afines, esta vez con solo tres monitores que mostrarían a una planta en crecimiento mediante stop-motion. El proyecto no fructificó y fue hasta el año siguiente que decidí hacer un nuevo intento de ingreso a la Maestría.

IV.-INTUICIÓN

Posterior al primer intento de Maestría tuve un vacío creativo notable, pero al paso de los días dejé de pensar en el asunto y comencé de nuevo a gestar proyectos, tanto para un segundo intento de ingreso a la Maestría como para una exhibición individual. Lo que hacía era poner atención a cualquier visualización interna que surgiera ya fuera mientras veía televisión, mientras calificaba a mis alumnos de arquitectura o mientras comía. Entonces recurría a mi cuaderno de notas para plasmar un esquema simplificado de la ocurrencia (Fig. 44).



Figura 44. Vista exterior e interior del cuaderno de notas

Sea como fuere el sistema de registro de la idea, el reto de proseguir exitosamente mi carrera académica se volvió la más poderosa motivación para llevar a cabo un proyecto artístico con fines de investigación.

Fue así que en noviembre del 2015 me entrevisté con dos maestros que podían fungir como mis asesores, y les compartí algunas de las ideas más prometedoras para conocer su opinión. Al primero de ellos le describí la idea de una instalación que utilizaba monitores de TV con imágenes de un tornamesa antiguo animado a través de stop-motion, pero no hubo la respuesta entusiasta que yo esperaba, así que deseché la idea de inmediato.

La entrevista con el segundo maestro fue la que definió el rumbo para decidir el contenido del protocolo para el segundo intento de ingreso a maestría.

Primeramente, me sugirió revisar a fondo el protocolo de mi primer intento para rehacerlo con posibilidades de éxito en una nueva oportunidad, situación que

no me satisfizo y que me llevó a plantearle que tenía otro proyecto nuevo en mente.

Tal proyecto se planteaba nuevamente en base a tres monitores de televisión alineados horizontalmente, el primero de ellos corriendo un video indeterminado cuya imagen sería capturada por una videocámara, pero solo en un pequeño sector de la pantalla.

Esta parte de la imagen sería entonces llevada a pantalla completa al segundo monitor ampliándose varias veces, y sobre ella sería nuevamente capturado un sector de la pantalla por una segunda cámara de video para trasladarla al tercer monitor donde finalmente se analizaría por parte del espectador si es que existía aun alguna relación perceptible con el video original.⁵⁷

Tal vez el proyecto era bueno solo considerándolo como parte de una instalación más completa, pero el caso fue que no logré impresionar al maestro, y pensé que, si él no apreciaba algo de originalidad o de utilidad para la investigación de las artes en ese proyecto, entonces no valía la pena poner mis esperanzas de ingreso a la Maestría en él.

Lo que sigue es algo confuso y no puedo asegurar al cien por ciento que haya sido la manera en cómo se dieron las cosas, pues fue algo muy breve e intenso, pero se trata indudablemente del momento que se identifica como el de

⁵⁷ La acción de tomar la imagen previa y transmitirla al siguiente monitor es semejante a una de las fórmulas aplicadas dentro del Caos, en donde de una ecuación se toma el valor numérico de su solución y se la aplica como un nuevo valor inicial a la misma ecuación. A esto se le conoce como *iteración*, pero al tiempo que se llevó a cabo la entrevista, el autor desconocía dicho término y su empleo en el área del Caos.

intuición o iluminación, ese instante en el que de pronto todas las ideas encajan en una sola dirección y dan nacimiento a un proyecto.

Previo al encuentro con el maestro, debí estar dando vueltas y vueltas a una ocurrencia a la que registré en mi cuaderno de notas, y que no le comuniqué a nadie pero que mantuve en un segundo plano, sobre todo porque la consideraba demasiado disparatada como para presentarla ante el comité de selección para la maestría.

Los elementos de mi ocurrencia incluían agua en depósitos transparentes, goteos, señales de onda corta que se escuchaban a través de un radio receptor antiguo y peces. No puedo recordar el proceso de selección y acomodo de elementos que llevé a cabo en ese entonces, pero de lo único que estoy seguro es de que tenía preparado el proyecto más o menos elaborado en una hoja carta, como si fuera un plan «B», pero en el cual no confiaba demasiado para ser elegido. Pero, cuando mis otros proyectos ya habían fracasado, solo atiné a decir: «tengo otra idea...» Y fue ahí cuando decidí sacar mi hoja con el esquema de la instalación y se lo enseñe al maestro.

El maestro me escuchó con atención con una mirada reflexiva mientras trataba de formarse una idea clara de lo que le estaba describiendo. Al final se mostró muy complacido y no requerí de más, ese sería «el proyecto», y se acabó de definir allí mismo, en ese cubículo de la Universidad.

V.-EVALUACIÓN

En el apartado anterior se describió anticipadamente parte del contenido correspondiente a esta fase del desarrollo creativo, ya que las circunstancias en las cuales se presentó la etapa de la intuición se dio al mismo tiempo que el proyecto era presentado para su evaluación preliminar, y que de acuerdo a lo que se pudo reseñar, fue realizada por dos profesionales del campo de las artes visuales.

La evaluación final del proyecto corrió a cargo de una terna de académicos que representaban tanto a la Universidad de Guanajuato como Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), una evaluación que antecedió a su aceptación definitiva para ingresar al programa de Maestría en Artes, en una sesión a puerta cerrada donde se articularon de manera más exacta los alcances y características del proyecto en tanto investigación acerca del papel del azar y el Caos en el arte, sin incluir todavía los detalles de la instalación que se integrarían hasta el inicio de la investigación.

VI.-ELABORACIÓN (bitácora y experimentación)

Luego de que mi proyecto pasó con éxito la primera evaluación, comencé a realizar algunos bocetos que se ilustran en las imágenes 45 y 46.

A la derecha de la Fig. 45 se menciona a un goteo y cuáles podrían ser sus variables en el ánimo de poderlo controlar, mientras que la Fig. 46 se explica cuál es la relación que tiene el goteo con los con los peces.

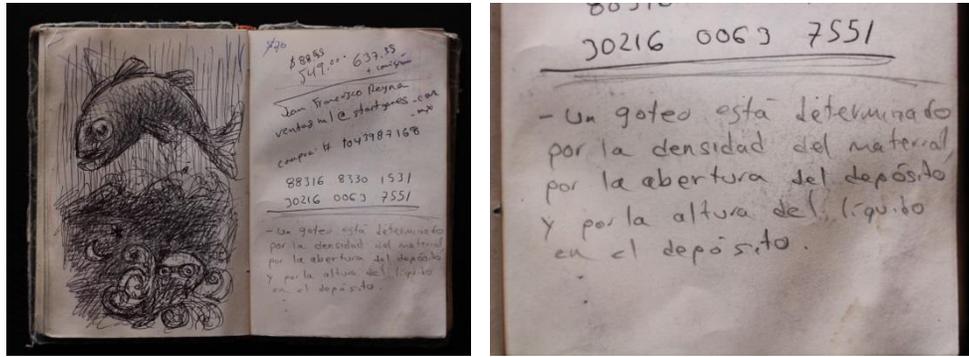


Figura 45

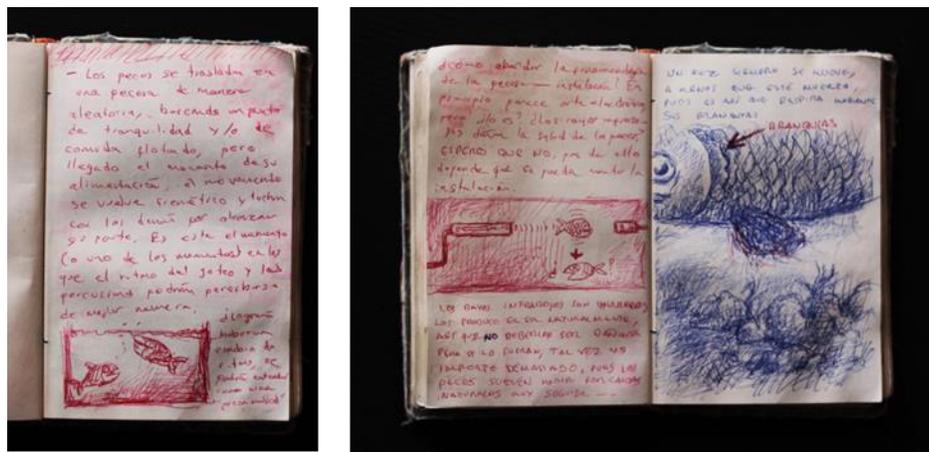


Figura 46

Las anotaciones se hicieron probablemente un mes antes de su segunda y definitiva evaluación en el examen de admisión a la Maestría, y el texto dice:

Los peces se trasladan en una pecera de manera aleatoria, buscando un punto de tranquilidad y/o de comida flotando, pero llegado el momento de su alimentación, el momento se vuelve frenético y luchan con los demás por alcanzar su parte, Es este el momento (o uno de los momentos) en los que el ritmo del goteo y las percusiones podrán percibirse de mejor manera.

¿Logrará haber un cambio de ritmos, se entenderá como un *pieza musical*?

¿Cómo abordar la fenomenología de la pecera-instalación? En principio

parece arte electrónico, pero ¿lo es? ¿Los rayos infrarrojos dañan la salud de los peces?

ESPERO QUE NO, pues de ello depende que se pueda montar la instalación. LOS RAYOS INFRARROJOS SON (ilegible), LOS PRODUCE EL SOL NATURALMENTE (...) UN PEZ SIEMPRE SE MUEVE, A MENOS QUE, ASÍ QUE NO DEBERÍAN SER DAÑINOS. PERO SI LO FUERAN, TAL VEZ NO IMPORTE DEMASIADO, PUES LOS PECES SUELEN MORIR POR CAUSAS NATURALES MUY SEGUIDO ESTÉ MUERTO, PUES ES ASÍ QUE RESPIRA MEDIANTE SUS BRANQUIAS.

Desde sus inicios, el proyecto tuvo bien claro sus principales alcances en cuanto a que consistiría en la ejecución de una obra artística que se realizaría de forma paralela a la investigación teórica, en donde tal obra justificaba su inclusión dentro del proyecto por utilizar eventos aleatorios cuyas dinámicas tendrían el potencial de enlazarse con el Caos en la etapa culminante de la investigación.

Dichos eventos deberán contener entonces varios factores fuera del control del artista, que al interactuar entre sí sean capaces de generar un registro audible como resultado último y justificante de la instalación completa.

Este registro audible, generado por un goteo múltiple, debe contar con ciertas características específicas que posibiliten identificarlo determinadamente con lo aleatorio. En consecuencia, no debe poseer un patrón de repetición exacta, sino al contrario, pero donde la frecuencia del goteo despierte de manera espontánea un cierto interés estético al oído del espectador.

Para lograr este goteo aperiódico se requiere en primer lugar de un grupo de peces, los cuales con su movimiento natural generen su detección a través de sensores infrarrojos dispuestos en lugares estratégicos a lo largo y ancho de la pecera que los albergue. Las señales de los sensores serán convertidas luego en un flujo de corriente alterna de 110 v gracias a la configuración de un circuito diseñado e impreso en una placa con ese fin.

Otro grupo de señales electrónicas provendrá de las ondas captadas por un radio receptor de modelo antiguo e interferirá con las señales generadas por los peces, nulificándolas al presentarse chasquidos de cierta intensidad en el altavoz

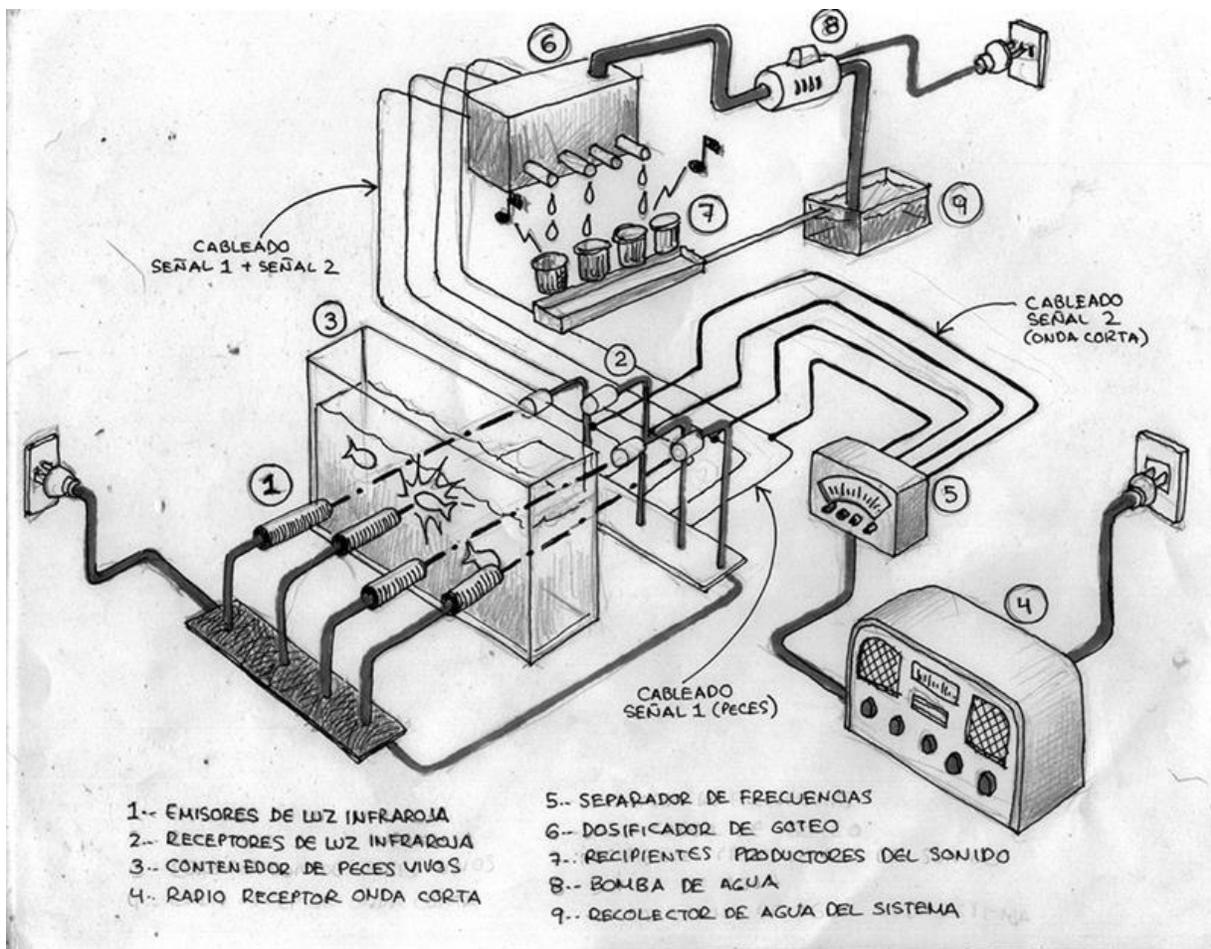
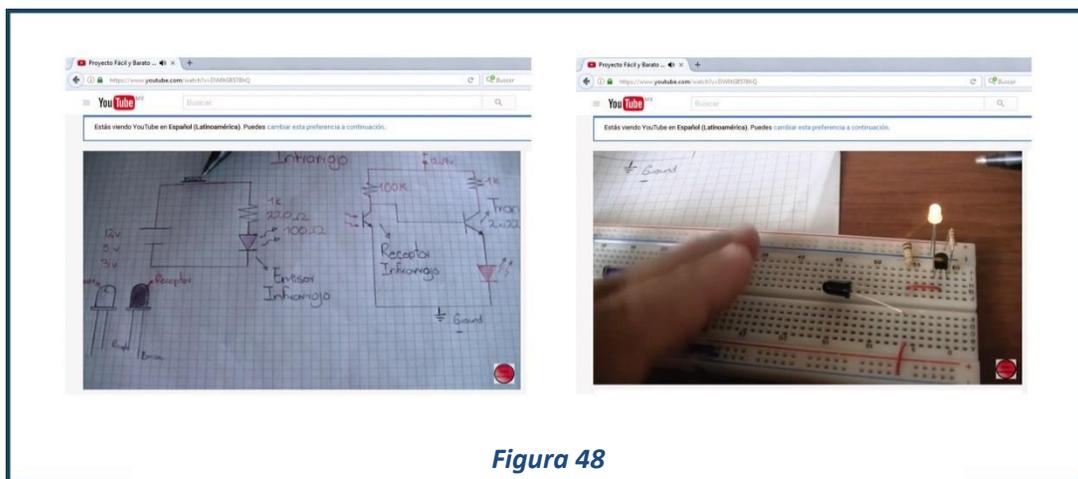


Figura 47

del primero, resultando en una señal única e impredecible que será la encargada de regular un flujo de agua que dará paso al goteo y el sonido consecuente. A continuación se presenta el esquema sobre el que se planteó originalmente el funcionamiento de la instalación completa (fig. 47).

Como inicio de la concreción material del proyecto, se realizó una búsqueda en internet a través de la página de *YouTube* hasta dar con un video producido por el canal de «Felipe González Electrónica»⁵⁸, donde se muestra detalladamente la manera de construir un detector de paso infrarrojo, necesario para llevar a cabo el paso VI de la metodología de este proyecto. Dos imágenes fijas del video se muestran en la Fig. 48.



Los componentes necesarios para el proyecto consistieron en un juego emisor-receptor de rayos infrarrojos, varias resistencias de distintos valores, un transistor, un LED⁵⁹ y alambre suficiente. Para comprobar el buen funcionamiento

⁵⁸ Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=DW0tG8578hQ>

⁵⁹ Siglas para *light-emitting diode* (diodo emisor de luz).

del circuito⁶⁰, se requirió montarlo en un tablero de pruebas o *protoboard* y una fuente de poder de 12 voltios. Como soporte teórico fue necesario también consultar el libro «Curso Fácil de Electrónica Práctica» (Cekit, 2000) en su versión disponible en internet para resolver algunas dudas técnicas sobre el proyecto.

Las instrucciones seguidas durante el montaje se pueden simplificar a través de la Fig. 49, mediante lo cual se pudo obtener el siguiente conocimiento acerca del tema de la electrónica:

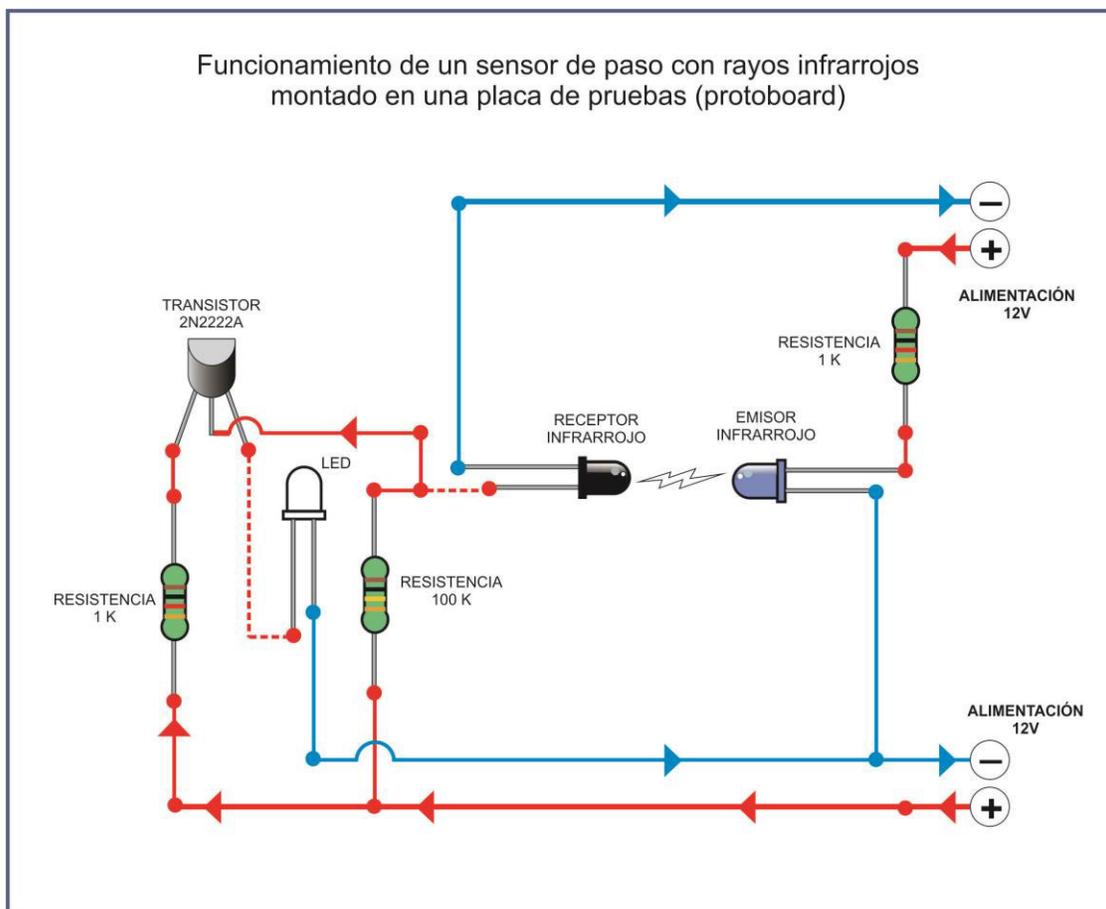


Figura 49

⁶⁰ Un circuito eléctrico es una serie de componentes conectados entre sí de manera que permiten la circulación de la corriente para producir un trabajo útil (Cekit, 2000)

-La corriente eléctrica sigue siempre un camino que fluye del polo positivo al polo negativo (o tierra), representándose el primero con el signo [+] y color rojo y el segundo mediante el signo [-] y color variable, en este caso se eligió azul, aunque también pudo haber sido negro.

-Los distintos componentes del circuito utilizan un voltaje específico, pero como la corriente de alimentación es fija, se intercalan resistencias para disminuir el voltaje y así no dañar a los elementos alimentados por ella.

-El transistor cumple el papel de cambiar o amplificar el camino de la corriente de acuerdo a la reacción de la dupla emisor-receptor de luz infrarroja, permitiendo que un LED se encienda cuando un objeto cualquiera impida que la luz llegue al receptor infrarrojo.

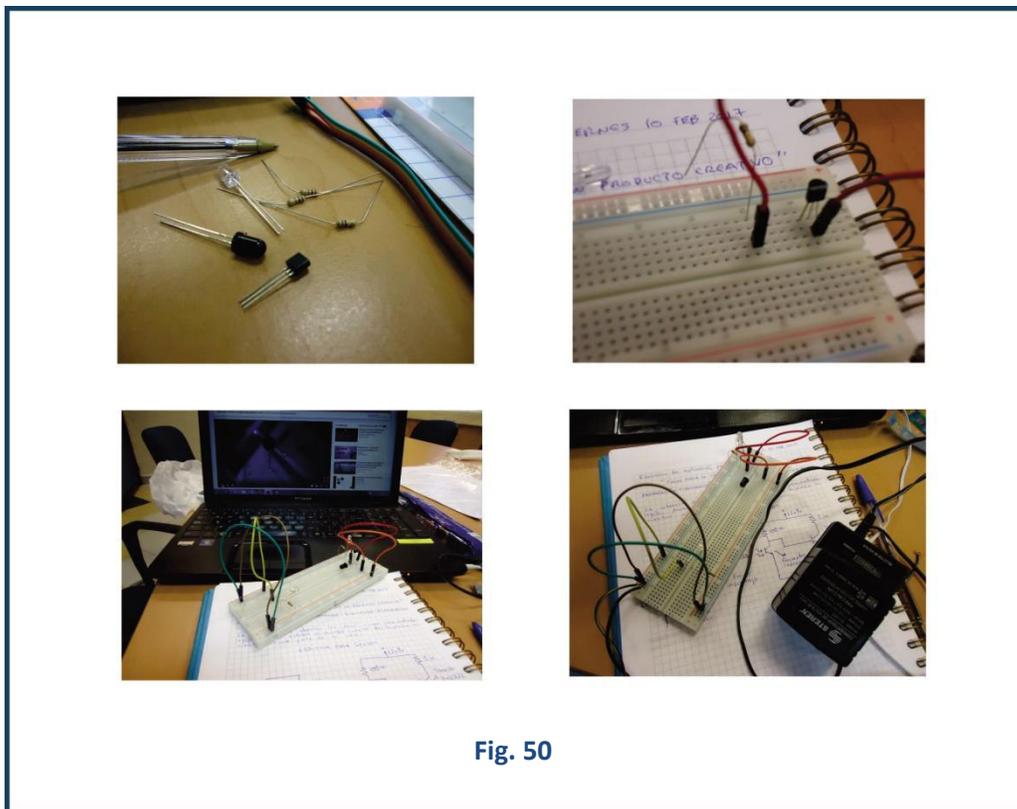


Fig. 50

El primer intento para llevar el proyecto a la práctica falló por una mala aplicación de las resistencias, pero se corrigió sustituyéndolas por unas adecuadas (fig. 50).

La siguiente actividad de experimentación consistió en la activación de un foco al interrumpir el paso de la luz infrarroja del sensor construido en la práctica anterior.

Una manera sencilla de explicar la manera en que esto ocurre, es pensar en que, al interrumpir la luz infrarroja del primer experimento, la corriente se desvía a una nueva dirección, al paso de la cual se tendrían que interponer las terminales positiva y negativa de un foco de uso normal para que este se pudiera encender.

Sin embargo, esto no es posible hacerlo de manera directa, pues la corriente que alimenta al circuito es de solo 12 voltios, en tanto que el foco requiere de 110 voltios para encenderse. De tal manera lo que procede es conectar el foco a una toma doméstica mediante una clavija, pero cortando antes

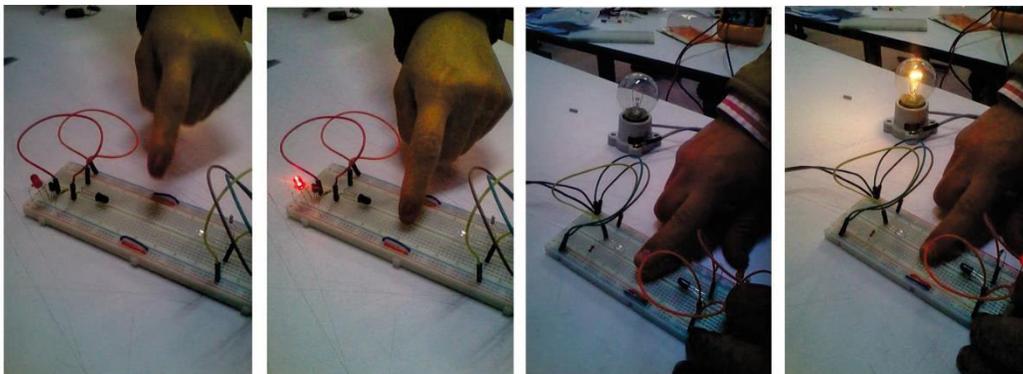


Figura 51

el paso de uno de los dos cables de alimentación y uniendo sus puntas a las terminales de un nuevo elemento llamado *relay*, que se encargará de tender un puente entre las dos terminales del cable cortado solamente cuando el paso de la luz infrarroja sea interrumpido⁶¹ (Figs. 51 y 52).

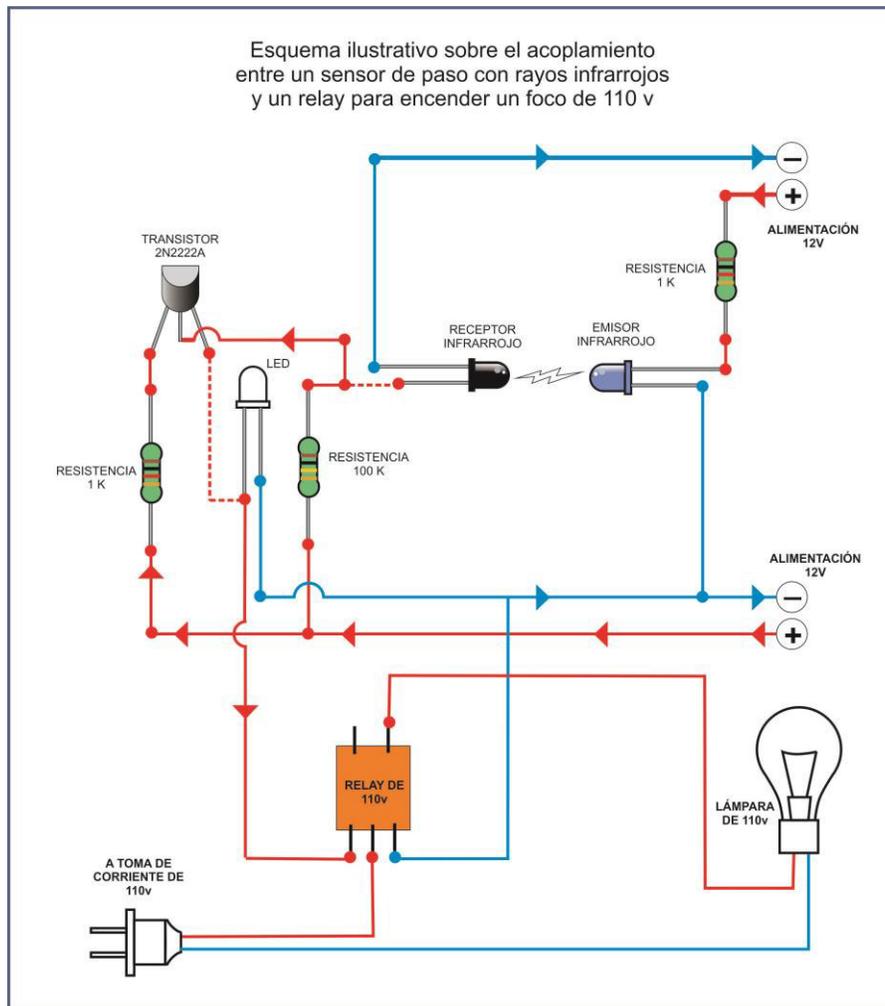


Figura 52

Una vez que se reprodujo el sensor de movimiento en el protoboard, se realizó un esquema del circuito en un programa de edición de gráficos (Fig. 53),

⁶¹ Los videos mostrando el funcionamiento del sensor se pueden encontrar en <https://vimeo.com/album/5851082>

con el fin de pasarlo a un tablero de placa fenólica. Lo que el esquema refleja es el

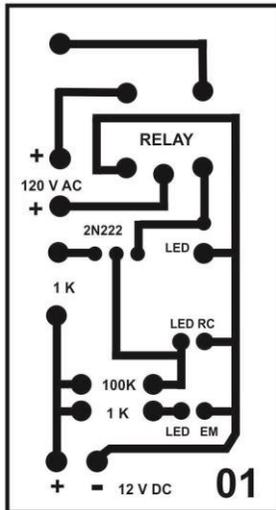


Figura 53

camino que sigue la corriente eléctrica para activar cada uno de los componentes del circuito sobre la protoboard, solo que ahora se le da un espacio lo más eficiente y limpio posible a cada componente para evitar que se toque con algún otro⁶².

La placa fenólica es esa que todos los aparatos electrónicos contienen en su interior. Consiste en una placa de material rígido y aislante con una de sus caras recubierta con una

delgada capa de cobre sobre la cual se imprimen los circuitos que hacen funcionar al aparato en cuestión. Tiene una cara recubierta con cobre, mientras que el resto del material es de una sustancia aislante.

Para poder pasar el circuito mostrado en la fig. 51 a la placa fenólica, se consultó nuevamente a un sitio de internet, en esta ocasión un video de YouTube nombrado «Video Tutorial de hojas de transferencia PNP-010 de Steren»⁶³.

En dicha página se muestra un proceso que consiste primero en imprimir sobre una hoja especial el esquema del circuito que busca grabarse en la placa fenólica. Una vez hecho esto, se transfiere el esquema de la hoja ya impresa a la

⁶² Cabe resaltar que el diseño del esquema se realizó en base al conocimiento adquirido hasta este punto acerca del flujo de la corriente eléctrica en conjunto con la realización de varios bocetos dibujados a lápiz antes de su trazado definitivo en Corel Draw.

⁶³ Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=1BAjk6Ksn1E>

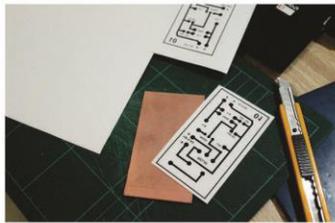
placa, aplicándole calor y presión con una plancha doméstica de uso común. El siguiente paso consiste en remover con agua el papel que quedó pegado a la placa, dejando únicamente el tóner ya transferido a la placa gracias al calor y la presión aplicados con la plancha. Luego hay que dejar remojar la placa por varios minutos dentro de una solución de agua y cloruro férrico, con el fin de que se pueda remover todo aquel cobre que no está recubierto por el tóner, al término de lo cual solo resta enjuagar la placa con agua corriente hasta que quede completamente limpia.

El proceso completo llevado a cabo en la práctica se muestra en la secuencia de imágenes de la Fig. 54.

Si bien los procedimientos seguidos en esta etapa de experimentación parecen demasiado sencillos en los videos de internet, en realidad presentan muchas complicaciones para ser llevados a cabo con éxito.

La principal dificultad consiste en que de cuando en cuando se puede dañar cualquiera de los componentes con los que se trabaja el circuito, y si no se tienen las nociones elementales de electrónica, entonces resulta imposible encontrar la pieza dañada. Aun cuando se sustituyan los componentes completamente por unos nuevos, esto no garantiza que el circuito funcione, pues puede darse el caso que un componente fuera del protoboard sea el que esté fallando o tenga especificaciones fuera del rango contemplado para el circuito.

Un ejemplo claro de esto resultó ser la falla de la fuente de poder que se utilizó inicialmente para el proyecto.



Impresión del esquema



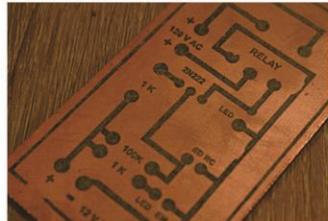
Planchado



Remojo en agua



Desprendimiento del papel



Resultado parcial



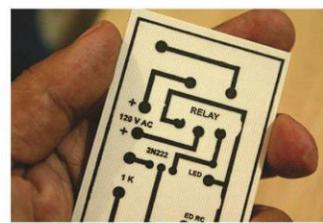
Preparación para el grabado



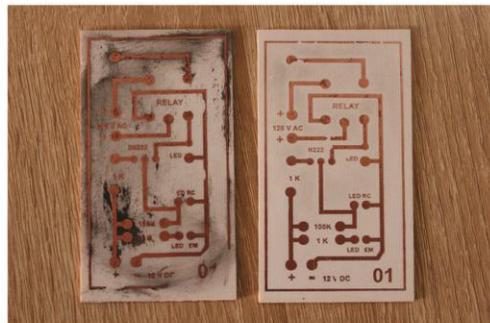
Adición del cloruro férrico y agua



Comprobación de la placa



Resultado del grabado



La placa finalmente limpiada mediante acetona (izq.) y mediante aguarrás (der.). La acetona resultó ser muy agresiva con el soporte plástico, por lo que dañó la primer placa realizada.

Figura 54

Se trataba de un eliminador de corriente del cual no se sospechaba falla alguna, pero que sin embargo daba un voltaje muy superior a los 12 voltios requeridos por el circuito, lo cual dañó las resistencias varias veces hasta que se detectó la falla por medio de un multímetro.

No hay más información que presentar en esta etapa del proyecto, y se seguirá procediendo de acuerdo a las exigencias propias del avance en el proyecto de la instalación, sin anticipar nuevos procedimientos. La principal razón, como ya se ha dicho anteriormente, es la de respetar los conceptos de emergencia, improvisación y autogestión como modeladores del proyecto, en consonancia con los procedimientos metodológicos seguidos por artistas visuales que han aplicado el azar en su trabajo.

Siendo así, se puede considerar a la parte realizada como una pieza importante y completa, que cumplió con los fines buscados a lo largo de esta investigación.

VII.-COMUNICACIÓN

La finalidad última de la instalación terminada es hacer patente el influjo del Caos en una obra de arte visual, por lo que idealmente deberá exhibirse en alguna galería o espacio de exhibición apropiado.

Sin embargo, cabe la posibilidad de que hasta no conseguir recursos propios o un patrocinio adecuado, tan solo se documente el proceso construcción llevado a cabo hasta este punto, posibilitando que tal documentación se pueda llevar a la práctica en un futuro a mediano plazo.

En la Fig. 55 (pág. sig.), se puede observar un mapa conceptual sobre la interacción múltiple, basado en la metodología de C. Villagómez (2015), entre las

distintas etapas del proceso creativo que se ha llevado a cabo hasta este punto del proyecto.

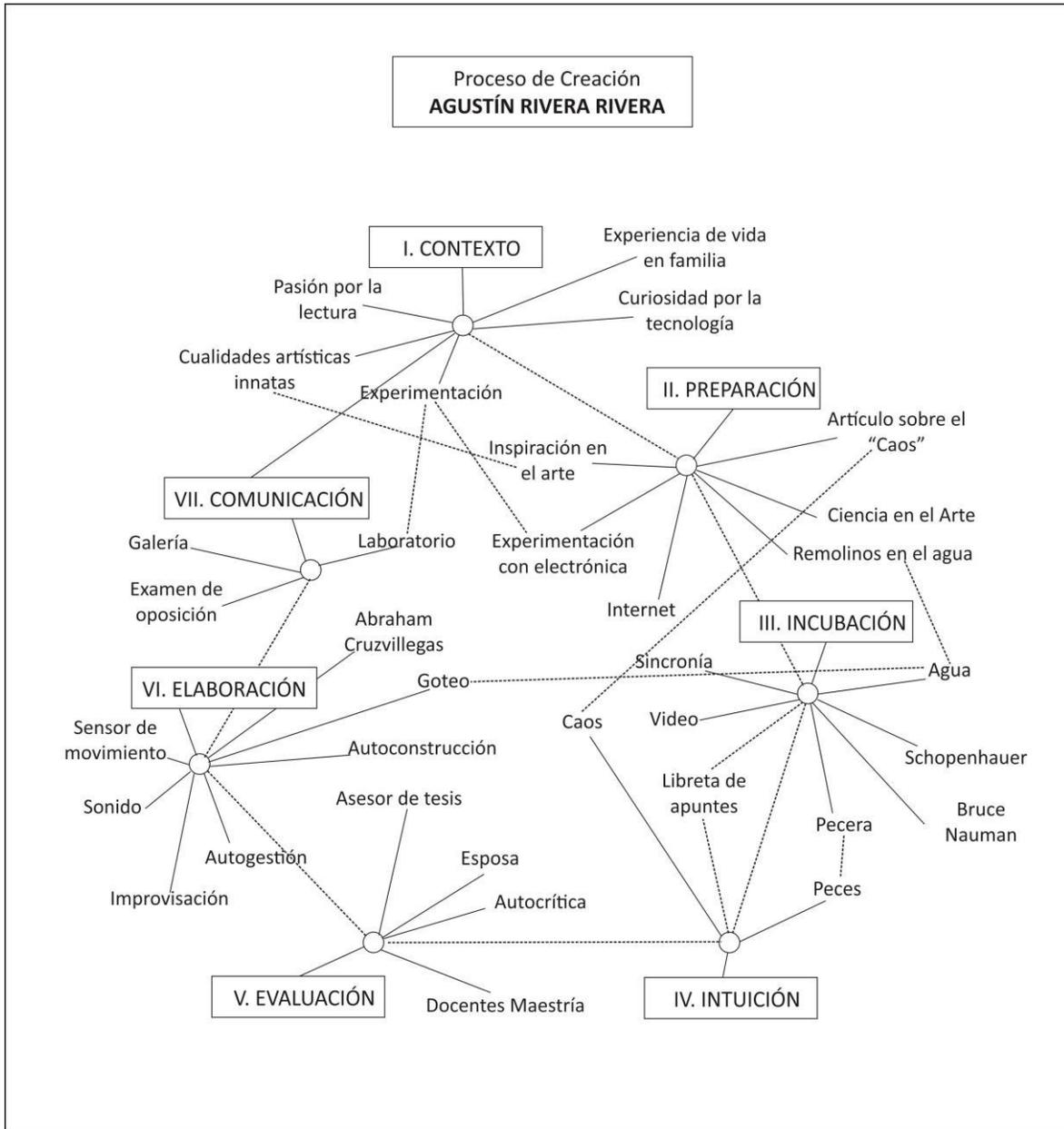


Figura 55

Como parte de esta última parte del capítulo tres, se considera pertinente hacer algunas precisiones acerca de la tipología de la obra aquí esbozada, y que hasta ahora ha sido designada como una instalación, por ser el concepto más aproximado a la pieza en sus términos formales.

Sin embargo esta tipología es ya inexacta dentro del contexto de hibridación de técnicas artísticas actuales, por lo que se debe aclarar que, tomando como base que la instalación es un término derivado de los ambientes instaurados al final de los años 60's a partir de la obra «Bedroom Ensemble» de Claes Oldenburg y luego renombrados a partir de las obras conocidas como «Installations» de Dan Flavin (Gutiérrez, 2009), entonces sus características no concuerdan del todo con las de la pieza a la que se dedica este capítulo.

Una instalación es una modalidad contemporánea de la escultura que considera un protagonismo primordial al espacio en la cual esta se desenvuelve e interactúa, un ente expresivo efímero que demanda la participación activa de los espectadores, y cuyos elementos pueden desarmarse y reconfigurarse sin ningún problema (Gutiérrez, 2009).

Dado que el espacio para la ubicación de la obra no reviste una importancia protagónica en el caso de la pieza aquí descrita, y a que tampoco se busca una interacción con el espectador, se trató de encontrar una tipología más abierta pero que incluyera sin contravenirlas, las características formales de la pieza cuando ya estuviera completamente concluida.

Y es así que se encontró la descripción de Pablo Estévez en su tesis doctoral: «El ensamblaje escultórico: análisis y tipologías objetuales en el Arte Contemporáneo mexicano» (2012, p.64), que sugiere el término *neoensamblaje* para “...la acción o efecto de unir: ideas, objetos industriales-cotidianos, conceptos, materiales, técnicas, medios alternativos que unifiquen en un todo la forma ensamblada.”

La ventaja del término *neoensamblaje*, es que incluye las propias características de la instalación, más otras posibles, ampliándose hacia aspectos tales como el incremento de elementos conceptuales, objetos encontrados o seleccionados, diversos materiales neutros y tecnológicos. Además, propone distintas formas de exhibición, tales como la instalación propiamente dicha, la escultura y la hibridación entre formatos (Estévez, 2012), lo cual, como podrá verse, se adecua de forma ideal a las propiedades de la obra descrita a lo largo de este capítulo tres y que deberá tomarse en cuenta al culminarla y presentarla ante los espectadores.

Otro asunto importante que es necesario mencionar, es que durante el lapso de tiempo transcurrido para preparar el borrador de este capítulo, todavía no era conocida por el autor la naturaleza de la relación precisa existente entre el goteo de un grifo y el Caos, lo que se hizo patente hasta un poco después de haber concluido las actividades prácticas consignadas en este capítulo tres.

En el entretanto se asumió que lo aleatorio del goteo de los grifos, en conjunto con el movimiento de los peces y el ruido de interferencias en el radio de onda corta serían una *metáfora* de la Teoría del Caos, aun cuando lo que se

suponía que se iba a producir en realidad sería más bien un caos *aleatorio*, no un caos *determinista* o Caos, como se le ha denominado en esta investigación.

Al continuar profundizando acerca de los alcances logrados por la teoría del Caos, resultó muy alentador encontrar la referencia a un artículo de la revista «Scientific American» publicado en diciembre de 1986 por Robert Shaw, matemático de la Universidad de California en Santa Cruz (Stewart, 2012).

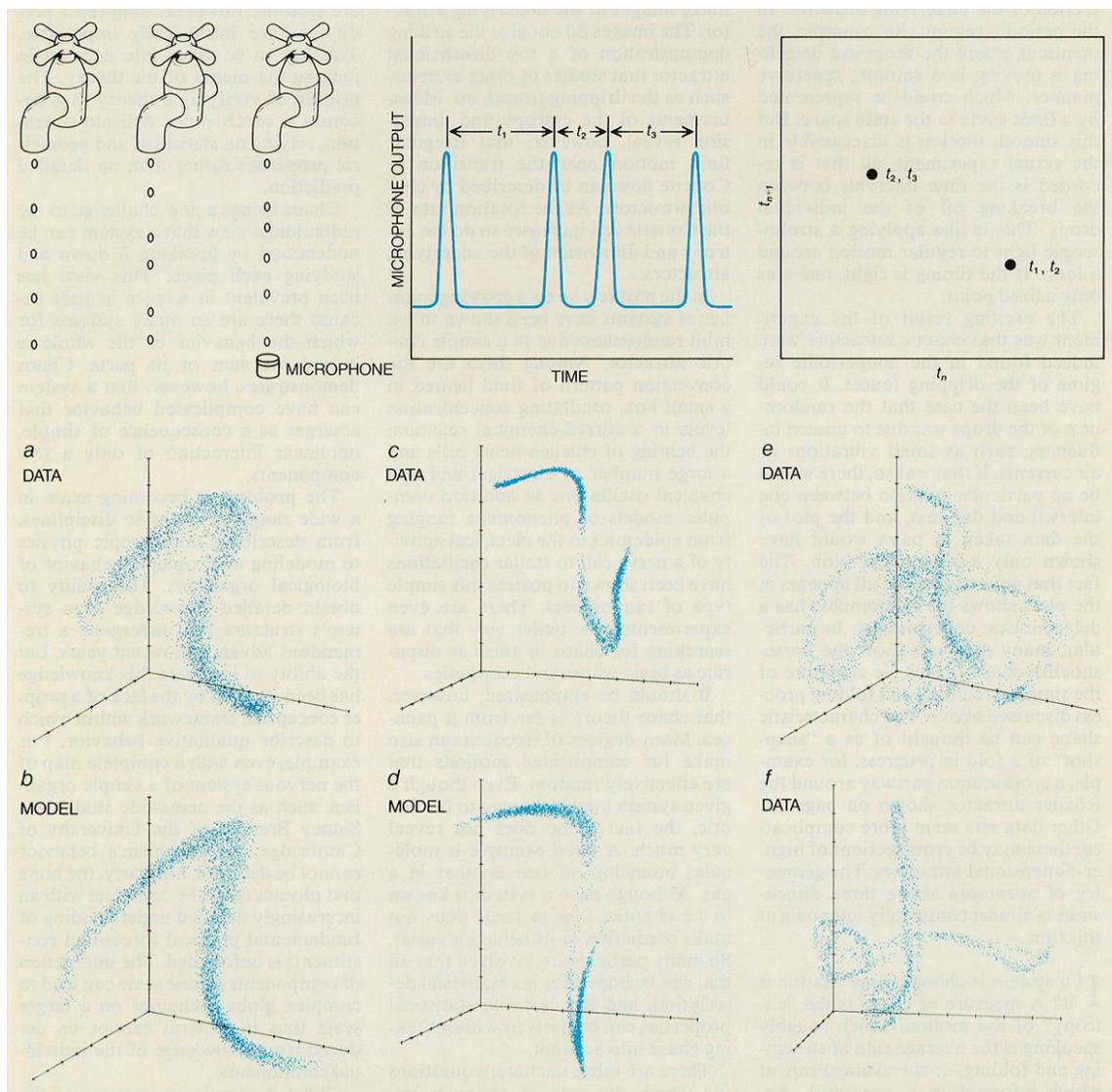


Figura 56

En esta referencia, Shaw describe la realización de un experimento en el cual dejó gotear a un grifo sobre un micrófono para obtener una modelización tridimensional de sus ritmos de goteo en base al sonido de 5000 series de *blips*⁶⁴ registrados por el micrófono (Fig. 56).

Lo interesante llegó cuando el registro del goteo se acercó al instante en que las gotas se encimaban un poco entre sí antes de despegarse del grifo, justo antes de que se convirtieran en un chorro de agua continuo. Shaw y su equipo lograron entonces reconstruir la topología de un atractor extraño específico para un grifo que gotea: había Caos comprobado experimentalmente dentro de él.

CONCLUSIONES

Tal como se ha dejado constancia en el capítulo tres, el asunto que dio origen este proyecto de investigación fue una pieza de arte visual alrededor de la cual se fueron entretejiendo distintos elementos matemáticos, filosóficos y estéticos, y así conformaron el proyecto de una neoinstalación que utilizó al Caos como parte integral de su *corpus*, logrando con ello profundizar acerca de la aplicación de la aleatoriedad con intenciones artísticas y estéticas.

Fue así que se logró fundamentar científicamente el hecho de que el azar, dentro de la práctica artística, no es lo que aparenta en términos de producir resultados incompatibles con principio de causalidad, sino que más bien debe conceptualizarse como un fenómeno constreñido dentro de los límites de una

⁶⁴ El *blip* es el breve golpeteo de la gota de agua sobre el micrófono.

dinámica compleja. Un fenómeno determinista, a fin de cuentas, pero sin posibilidades de predicción.

Sin embargo no es posible modificar de un día a otro los paradigmas filosóficos y científicos que han moldeado al mundo, prevaleciendo hasta hoy día una visión determinista del universo, aparejada con los principios de la geometría euclidiana, que si bien no brindan una visión real de aquel, sí lo vuelven lo suficientemente aprehensible para las necesidades cotidianas del común de la gente, por lo que esta visión esquemática de la realidad ha repercutido necesariamente en la concepción sobre las artes, la belleza y consecuentemente en el objeto de estudio de la estética.

Un hallazgo al margen de los propósitos iniciales de esta investigación, fue poner en evidencia que algunos temas tratados desde los orígenes de la geometría euclidiana en la Grecia clásica, tales como la autosimilitud del pentágono, el teorema de Pitágoras y la proporción áurea, comparten características relacionadas con los fractales. Incluso se ilustró el caso de un fractal construido ya dentro del siglo XX, que toma como base al teorema de Pitágoras, y que da por resultado la figura de un árbol con apariencia sorprendentemente natural⁶⁵, emulando en cierta manera el principio pitagórico de que la realidad está constituida por números. Gracias a lo anterior, y más específicamente a lo respectivo a la sección áurea, se ha logrado comprobar que el Caos no es, ni ha sido un terreno ajeno al tema del arte, sino todo lo contrario.

⁶⁵ Cfr. subcapítulo 1.6.5.

Por otro lado, al poner sobre la mesa un somero análisis sobre la obra de tres artistas visuales y un compositor musical de importancia histórica indudable, se confirmó que, aunque estos recurrieron a una metodología basada en el azar y en la indeterminación, sus resultados pueden ser descritos asimismo en términos de la ciencia del Caos.

En el caso de Marcel Duchamp, al tomar fotografías de una tela movida por el viento que entraba por la ventana para integrarlas a su «Gran vidrio», implica que la tela era movida en esos momentos por un fluido (el aire), y que al hacerlo debió provocar una turbulencia, fenómeno utilizado en los experimentos realizados por Ruelle y Takens para descubrir cómo es que el movimiento caótico da inicio. El movimiento de la tela en apariencia azaroso y provisto de cierto misterio no puede permanecer ya en la zona de lo ininteligible e irracional en donde Duchamp lo situó en un principio, sino que tal vez deba recontextualizarse dentro de una experiencia estética fincada en la complejidad.

Esto no debe tomarse como un simple eufemismo, pues como se ha comprobado de manera suficiente, el Caos posee una serie de propiedades matemáticas que al visualizarse resultan en figuras estéticamente interesantes y atractivas, a diferencia de lo que se podría esperar del azar.

En cuanto al experimento de Duchamp al dejar caer tres hilos para dibujar sus siluetas, su relación con el Caos radica en que, gracias al principio de la sensibilidad a las condiciones iniciales, los tres hilos de la misma longitud dejados caer desde una misma distancia hayan formado tres siluetas completamente distintas, lo cual podría tener una relevancia relativa para los propósitos de esta

investigación, pues en este caso la indeterminación implícita en el proceso es demasiado extensa como para obviar una diferencia precisa con el azar convencional⁶⁶.

El caso de Jackson Pollock es muy distinto al de Duchamp, ya que en sus lienzos se pudo comprobar de una manera sólida que el fluir de su *dripping* está ordenado alrededor de patrones fractales, para cuya medición se aplicaron los conceptos matemáticos de autosemejanza y la dimensión fractal.

Seguramente la sensación de que Pollock repetía secciones de su pintura en una escala cada vez más pequeña, no pasó desapercibido por los observadores tempranos de su obra, pero lo que definitivamente no podían saber ellos por cuestiones relativas al horizonte científico de la época, es que esta serie de repeticiones recurrentes determinan una graficación alrededor de una línea recta con una inclinación constante, lo que demuestra las cualidades únicas de sus pinturas como poseedoras de una dimensión fractal comprobable con las técnicas digitales de hoy día.

Habrá que recordar que la intención de Benoit Mandelbrot cuando creó su idea de los fractales, fue la de describir de mejor manera las formas reales que existen en la naturaleza, en tanto que la motivación de Pollock al aplicar su *dripping* era reflejar ritmos naturales que él percibía bajo ciertos estados de abstracción mental, para lo cual pudo haber recurrido a las imágenes del ramaje

⁶⁶ Esto se entiende en el sentido de que a diferencia del trozo de tela fotografiado que estaba fijo e interactuando libremente con el viento, los tres segmentos de hilo dependieron de variables tales como la tensión aplicada por Duchamp en cada ocasión, la horizontalidad al soltarlos, la altura exacta, etc., de manera que cada intento pudo haber consistido en realidad en un fenómeno muy independiente de los otros dos.

de los árboles y la hojarasca de los bosques existentes en los alrededores de su taller. De esta manera la distribución de su *dripping* en el lienzo queda mucho más supeditada a una justificación de orden matemático basado en la naturaleza que a una cuestión determinada por un desorden aleatorio de origen incierto.

Con John Cage se logró señalar la posibilidad de que su metodología de lanzar una moneda y a la vez consultar al I Ching, esté vinculado de alguna manera con algún tipo de atractor extraño, tal como ocurre con el triángulo de Sierpinski, que aparece al lanzar un dado arreglado en el juego del Caos revisado en el subcapítulo 1.7.4. Esta posibilidad, al igual que un estudio más profundo sobre la naturaleza del azar a nivel cuántico, merecen una especial consideración para continuar un estudio posterior sobre el enfoque asumido a lo largo del presente trabajo de investigación.

Por último y no menos importante es el caso de Abraham Cruzvillegas, cuya obra orbita indudablemente alrededor del azar y la improvisación, a través de las propiedades sintácticas de la misma.

A pesar de ello no ha sido sencillo descubrir un nexo obvio entre el Caos y el azar ya mencionado, la referencia más promisoría para evidenciarlo ha sido la pieza titulada «La curva», en donde hay varios elementos unidos entre sí que evolucionan lentamente dentro de una dinámica establecida por la gravedad, pero con un resultado final indeterminado. Es decir, ¿cómo terminará acomodada sobre el suelo esta pieza cuando las velas terminen de deslizarse unas sobre otras? Seguramente la más mínima variación en las condiciones circundantes provocaría un resultado distinto en cada intento, y en esa impredecibilidad, y en la posibilidad

de graficarla dentro de un espacio de fases, estriba gran parte del interés de esta pieza.

De igual manera el equilibrio precario en una gran parte de las esculturas de Cruzvillegas propician el que sea imposible prever su estado final, menos aún al tratarse de construcciones improvisadas *in situ*, que pueden configurarse de infinitas maneras de acuerdo a variaciones infinitesimales de sus elementos compositivos, de la misma manera que sucede con el clima, pero que al igual que este, son capaces de infundir en el espectador la sensación de un desenlace impactante e inminente que tan solo está a la espera del aleteo de una mariposa para evidenciarse y trastocar el entorno.

En el caso de la acción de Cruzvillegas para Documenta 13, esta alberga dentro de su metodología el uso de la indeterminación de manera muy parecida a como lo hizo Cage con sus permutaciones, pero a diferencia de Cage, Cruzvillegas no utilizó una moneda o algún otro artilugio generador de azar, lo cual supedita todo el proceso al entorno aleatorio-subjetivo, imposible de relacionar con el Caos de una manera clara.

Una situación también muy peculiar es la de «Empty lot», en el que los procedimientos usuales de Cruzvillegas basados en la yuxtaposición estructural y en el equilibrio precario no pudieron ser aplicados por motivos de la estricta reglamentación constructiva en la ciudad de Londres.

Siendo así, se debe admitir aquí que, aunque la aleatoriedad sí tomó parte en la creación de «Empty lot», no hay un proceso dinámico que pueda evidenciar

su relación con el Caos, de no ser por los ensamblajes complementarios que Cruzvillegas instaló a lo ancho y largo de la estructura principal, o tal vez a la manera en que se seleccionaron los lotes baldíos de los que se extrajo la tierra. No obstante, la pieza encierra dentro de sí una gran complejidad al momento de constituirse en un microambiente muy particular, dotado de respuestas totalmente impredecibles, tanto en la interacción natural de la tríada agua-tierra-vida, como de los propios espectadores que en algún momento pudieron lanzar las semillas que volvieron exitoso el concepto de la *esperanza* que desde un principio justificó la creación de «Empty lot».

En la fase final de este trabajo de investigación, se decidió enviar a Abraham Cruzvillegas una copia preliminar del escrito para preguntarle su opinión, a lo que amablemente contestó en el sentido de que le permitiría hacerse un tipo distinto de preguntas acerca de su trabajo, y que también le proporcionaba herramientas de gran utilidad para el futuro cercano.

Asimismo, admitió que el enfoque del escrito le da nuevas perspectivas al uso del azar y del Caos, posibilitando nuevas convenciones y paradigmas dentro de los terrenos del arte⁶⁷.

Esta respuesta confirmó buena parte de las expectativas generadas al principio de la investigación, lo que mantiene la firme intención de continuar indagando acerca del tema en próximos proyectos tanto de ejecución de obra como de investigación teórica.

⁶⁷ Correo electrónico recibido de Abraham Cruzvillegas, 03 nov. 2018.

Durante este proceso se descubrió también que la única manera de comprobar a cabalidad la hipótesis que la sustenta, sería a través de la realización de modelos matemáticos de las obras de Cruzvillegas y las de los otros artistas aquí discutidas, introduciendo sus datos en un espacio de fases y aplicando miles de iteraciones por medio de una computadora, hasta que fuera posible distinguir la forma de un atractor extraño en el monitor, o en caso contrario tan solo una nube de puntos sin sentido.

Y es aquí es en donde estriba la gran dificultad de tratar de descubrir el Caos en una obra de arte visual, y descartar lo que apariencia es un azar convencional. Pero al paso del tiempo los recursos tecnológicos y humanos necesarios para solucionar este tipo de problemas van siendo cada vez más accesibles, lo que prospecta en el corto plazo una develación cada vez más común del Caos en este tipo de técnicas artísticas.

No debe dejar de recalcar que lo que se ha logrado plasmar a lo largo de estas páginas es el progreso de una investigación estética desde una vertiente epistemológica, en donde, debido a lo complejo de la tarea, se ha aceptado de antemano la imposibilidad de enfrentarse a los hechos reales para estudiarlos directamente.

Esto ha implicado entonces la aceptación de los distintos modelos simplificados que la ciencia ha construido de acuerdo a los principios del racionalismo, por lo que los resultados obtenidos a través de estos modelos solo aplican a los *procedimientos* artísticos aquí analizados, que solo abarcan aspectos tangibles de la obra. No hay por ahora, y tal vez nunca lo haya, un modelo

científico que explique el aporte integral del artista a su obra, pero lo que se ha logrado bosquejar aquí aspira a formar parte cada vez más activa dentro de las posibilidades de su mejor análisis y comprensión global.

Con esto en mano, no cabe duda que la implementación por parte del Caos de términos como *atractor extraño* o de los *fractales* de parte de Benoit Mandelbrot, no explican la tendencia del ser humano a construir lenguajes y significados, pero si describen mejor a estos a través de conceptos objetivos, en consonancia con los paradigmas filosóficos y científicos existentes al día de hoy.

Por esta razón es de gran relevancia para la hipótesis de trabajo planteada al inicio de esta investigación, comprobar que la neoinstalación planteada en el capítulo tres, sí muestra al menos un fenómeno con cualidades identificables de manera indudable con el Caos. Se trata de los grifos y su goteo, mediante los cuales se producirá una secuencia de sonidos asincrónicos e impredecibles, un fenómeno sencillo y universal que siempre ha estado presente en la naturaleza, solo que profundizar en su epistemología requirió de una verdadera revolución en la manera de describir a lo caótico como parte de la realidad cognoscible. Lo otro, lo de la interferencia radial y el movimiento de los peces, quedará situado por el momento como ejemplos de caos aleatorio hasta que alguien pueda demostrar lo contrario.

Para cerrar esta investigación solo queda subrayar las acciones disruptivas de un grupo de artistas de principios del s. XX, que al hacer uso del azar trataron de reunir al mismo tiempo arte y vida, arte y proceso. Y por otro lado los científicos y matemáticos que han estudiado el Caos han coincidido en afirmar que la

mayoría de los eventos naturales se reflejan en modelos matemáticos no-lineales e inherentemente irresolubles, que solo aspiran a proporcionar imágenes cualitativas de un proceso impredecible. Así que en consecuencia, el arte y el Caos han coincidido a lo largo de seis décadas en un lugar común, que merece seguir siendo estudiado a profundidad con la principal motivación de ahondar en la epistemología de la obra artística contemporánea y por ende, del ser humano mismo.

REFERENCIAS

- Abaroa, E., Orozco, G., Ortega, L. F., & Otros. (2016). *Textos sobre la obra de Abraham Cruzvillegas*. Ciudad de México: Secretaría de Cultura.
- Abbagnano, N. (1993). *Diccionario de filosofía*. 2da ed. México: Fondo de cultura económica.
- Acha, J. (2011). *Los conceptos esenciales de las artes plásticas*. México: Ediciones Coyoacán.
- Aguilar, A., Bravo, F., Gallegos, H., Cerón, M., & Reyes, R. (2009). *Matemáticas simplificadas* (2da ed.). Estado de México: Pearson Educación.
- Almarza, F. (2002). La Teoría del Caos. Modelo de interpretación epistémica e instrumento de solución: reconciliación entre ciencias y humanidades. *Escritos, III* (18), 107–150. Retrieved from [http://www.pensamientocomplejo.com.ar/docs/files/FernandoALmarza-Rísquez, La Teoría del Caos Modelo de Interpretación.pdf](http://www.pensamientocomplejo.com.ar/docs/files/FernandoALmarza-Rísquez,LaTeoríadelCaosModelodeInterpretación.pdf)
- Araya, V., Alfaro, M., Andonegui, M. (2007). Constructivismo: Orígenes Y Perspectivas. *Laurus*, 13 (76–92). Recuperado de [https://doi.org/Vo.5 No.2](https://doi.org/Vo.5No.2)
- Arita, H. T. (2005). *Fractales, autosimilaridad y la función potencia*. Recuperado de

<http://www.ecologia.unam.mx/laboratorios/macroecologia/Curso2007/Fractales.pdf>

- Artacho, A. (2014). *Matemáticas cercanas.com. El árbol de Pitágoras* [entrada de blog]. Recuperado de <https://matematicascercanas.com/2014/06/03/el-arbol-de-pitagoras/>
- Becerra, J.M. (2016). *El campo de los números reales, Unidad III*. Recuperado de <http://dgenp.unam.mx/direccgral/secacad/cmatematicas/pdf/m4unidad03.pdf>
- Bonell, C. (2001). *La divina proporción. Las formas geométricas*. España: Ediciones UPC.
- Bunge, M. (2001). *LA CIENCIA Su método y su filosofía*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana.
- Bunge, M. (2002). *Epistemología*. CDMX: Siglo veintiuno editores, s.a. de c.v.
- Carmona, C. (2018). *Dimensión fractal: aparición y cálculo mediante el método box counting en distintos ámbitos*. Recuperado de <http://slideplayer.es/slide/11902666/>
- Carmona Collado, D. C. (2003). *Fractal Attraction*. (Trabajo de grado). Universidad de las Américas, Puebla, México
- Centeno, S. (2014). *Cosmética homérica. Un estudio sobre el origen homérico y evolución presocrática de la idea de espacio cósmico*. Oviedo: Eikasía
- CEKIT (2000). *Curso fácil de electrónica básica*. Recuperado de <https://librosdeelectronicagratis.wordpress.com/2016/07/07/curso-de-electronica-basica-cekit-pdf/>
- Centro de Estudiantes de Geofísica, Meteorología y Astronomía (2018). Curso de nivelación. Apunte teórico-práctico. Módulo 3: Ecuaciones algebraicas. Recuperado de http://cegma.fcaglp.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/2015/07/Modulo_3-Ecuaciones_Algebraicas.pdf
- C. Hilde, T. (2000). Intelligence, Accident, and Art as a practice. *Transactions of*

the Charles S. Peirce Society, 36(4), 549–561.

Contreras, A., de Gante, E., & Macías, M. del R. (2016). Matemáticas y sus aplicaciones 7. En Macías, F. (Ed.), *Matemáticas y sus aplicaciones 7* (pp. 155-173). Puebla: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Coronado, G. (2002). Los pitagóricos: matemática e interpretación de la naturaleza. *Revista de Filosofía de La Universidad de Costa Rica*, XL(100), 13–21.

Cruzvillegas, A. (2014). *La voluntad de los objetos*. Ciudad de México: Editorial Sexto Piso, S.A. de C.V.

de la Orden, F. (2015). *300 historias de palabras. Cómo nacen y llegan hasta nosotros las palabras que usamos*. España: Espasa Libros, S.L.U.

de los Rios, I. (2006). *El concepto de azar en la filosofía de Aristóteles*.

Recuperado de

https://books.google.com.mx/books?id=39LTEN0aKaUC&pg=PA14&lpg=PA14&dq=Arist%C3%B3teles+AND+lo+fortuito&source=bl&ots=d4MUeVDO-z&sig=i68xvEyMWTc7_gFalTh_MVrLMmU&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjWvIHPs5XZAhVSz2MKHTY5DmUQ6AEIMDAB#v=onepage&q=Arist%C3%B3teles%20AND%20lo%20fortuito&f=false

Dávila, V. (2004). “Estética” de la armonía en Platón. *Práxis, revista de filosofía*, (57), 7-15

Díaz, Á. G. (2017). John Cage, golpeando el muro con la cabeza. Visión general de la obra. *Societarts. Revista de Artes*, 2(4), 1–26.

Eco, U. (2010). *Historia De La Belleza*. (M. Pons, Trad.). Barcelona: Debolsillo.

Estévez, P. (2012). *El ensamblaje escultórico: análisis y tipologías objetuales en el Arte Contemporáneo mexicano*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, España.

Fuentes, R. (2005). *La práctica del Diseño Gráfico: una metodología creativa*.

- Barcelona: Paidós Ibérica.
- Galindo, I. (1991). *Gran vidrio puesto al desnudo por sus verbos*. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Gallego, F. B. (1999). Caos y atractores extraños. Dos problemas no lineales en matemáticas. *Gaceta de La Real Sociedad Matemática Española*, 1–18.
- García, E. (2012). *Desde John Cage: 4'33" como fin de toda obra*. (Tesis doctoral). Universidad de Vigo, España..
- Gleick, J. (1987). *Caos, la creación de una ciencia*. Barcelona: Editorial Crítica
- González, P. M. (2008). El teorema llamado de Pitágoras. una historia geométrica de 4.000 años. *Sigma*, (32), 103–130.
- Godfrey, M., Cruzvillegas, A., & Rangel, G. (2016). *Abraham Cruzvillegas Empty Lot*. Londres: Tate Publishing.
- Gribbin, J. (2006). *Así de simple: el caos, la complejidad y la aparición de la vida*. (M. García Garmilla, Trad.). Barcelona: Crítica.
- Gutiérrez, A. (2009). La instalación en el arte contemporáneo colombiano. *El artista*, (6), 129-153
- Harada, E. (2005). Las matemáticas: ¿descubiertas o inventadas? La respuesta del realismo constructivista. *Ciencia Ergo Sum*, 12(2), 193–198.
- Kant, E. (1755). *Historia natural y teoría general del cielo*. P. Merton (trad.). Buenos Aires: Lautaro
- Kline, M. (1992). *El pensamiento matemático de la Antigüedad a nuestros días, I*. (M. Martínez, J. Tarrés, & A. Casal, Trad.). Madrid: Alianza Editorial.
- Laguna, G. (2016). Sobre lo complejo y su tratamiento multidimensional. En Laguna, G.A., Marcelín, R., Patrick, G.A., Vázquez (coords.) *Complejidad y sistemas complejos, un acercamiento multidimensional* (pp. 1-16) CDMX: EditoraC3 Coplt-arXives

- Lejeunne, D. (2012). *The radical use of chance in 20th century art*. New York: Editions Rodopi B.V.
- Madrid, C. (2010). Historia de la Teoría del Caos contada para escépticos: Cuestiones de génesis y estructura. *Encuentros Multidisciplinares*, 12(34), 16–31.
- Marchan, S. (2001). *Del arte objetual al arte del concepto*. Madrid: Ediciones Akal, S.A.
- Martínez, R., Bulajich, R. (1993). Caos. Memoria antigua, realidad moderna. *Ciencia y Desarrollo*, XVII,(105),12–31.
- Mc Graw Hill education (20 Nov. 2017). La composición I. Recuperado de <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448146816.pdf>
- McNabb Costa, D. (Septiembre,2004). *Peirce y la Teoría del Caos*. Trabajo presentado en la I Jornada “Peirce en Argentina” , Universidad Austral, Buenos Aires.
- Moreno, M. A. (2004). Kant Y Su Contribución Astronómica. *Revista Digital Universitaria*, 5(7), 2-9. Recuperado de http://www.revista.unam.mx/vol.5/num11/art75/dic_art75.pdf
- Moskowitz, C. (20 Abril 2010). After Big Bang came moment of pure Chaos, study finds. Recuperado de <https://www.space.com/9255-big-bang-moment-pure-chaos-study-finds.html>
- Olive, P. (1843). *Diccionario de sinónimos de la lengua castellana*. Madrid: Imprenta de D.I. Boix.
- Ortega, E. (2013) In slideshare. Recuperado de <https://es.slideshare.net/EmmanuelOrtega/fractales-y-analisis-fractal>
- Osorio, A. E. (2001). *Introducción a la filosofía presocrática, los orígenes de la metafísica, de la dialéctica y del nihilismo en Grecia*. (L. F. Escobar, ed.). Manizales: Universidad de Caldas.

- Penrose, R. (1999). *Lo grande, lo pequeño y la mente humana*. (J. García, Trad.). Madrid: Cambridge University Press.
- Pérez, C. (2013). Los números irracionales y la música. *Cont4b13*, (45), 32–33.
- Perniola, M. (2001). *La estética del siglo veinte*. Madrid: A. Machado Libros, S.A.
- Platón. (1872). *Obras completas, Timeo*. (P. De Azcárate, ed.) Madrid: Medina y Navarro
- Ramírez, J. A. (1993). *Duchamp: el amor y la muerte, incluso*. Madrid: Siruela.
- Ramírez, M. (2010). Teoría del Caos: una visión de su historia y actualidad. *Revista Del Centro de Investigación*, 9(34), 41–47.
- Rampléy, M. (1996). Identity and Difference: Jackson Pollock and the Ideology of the Drip. *Oxford Art Journal*, 19(2), 83–94.
- Rodríguez, J. (1978). La ciencia griega. *Estudios Clásicos*, 22(81–82), 157–163.
- Ruiz Limón, R. (2006). *Historia y evolución del pensamiento científico*. Recuperado de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2007a/257/index.htm>
- Salgado, S. (2012). *Platón, el ideal de ciudad justa*. Madrid: El Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado.
- Serrano, E. (2000). Etimología de algunos términos matemáticos. *Suma*, (35), 87–96.
- Stewart, I. (2008). *Historia de las matemáticas en los últimos 10,000 años*. (J. García Sanz, Trad.). Madrid: Crítica.
- Stewart, I. (2012). *¿Juega Dios a los dados?*. Barcelona: Booket ciencia.
- Taylor, R. (2006). Personal reflections on Jackson Pollock 's fractal paintings. *História, Ciências, Saúde - Manguinhos*, 13, 109–123.
- Taylor, R. P., Micolich A. P., Jonas, D. (2002). The Construction of Jackson Pollock's Fractal Drip Paintings. *Leonardo*, 35 (2), 203-207

- Taylor, R. P. (2003). El orden en el caos de Pollock. *Scientific American México*, 1(8), 56–61.
- Taylor, R. P., Spehar, B., Van Donkelaar, P., & Hagerhall, C. M. (2011). Perceptual and Physiological Responses to Jackson Pollock's Fractals. *Frontiers in Human Neuroscience*, 5(June), 1–13.
- Toledo, D. (2011). El Mito del caos primigenio y su vínculo con las cosmogonías filosóficas de Tales y Anaximandro de Mileto. *Stoa*, 2(4), 55–78.
- Toledo, Y. (2005). *Sección áurea en arte, arquitectura y música*. Recuperado de http://matematicas.uclm.es/ita-cr/web_matematicas/trabajos/240/La_seccion_aurea_en%20arte.pdf
- Tomasini, M. C. (2006). El concepto de armonía en el pensamiento pitagórico y su ilustración en la matemática subyacente a la escala musical. *Terceras jornadas sobre el Mundo Clásico* (pp. 1–15). Argentina.
- Tomasini, M. C. (2007). El fundamento matemático de la escala musical y sus raíces pitagóricas. *Revista Ciencia y Tecnología*, (6), 15–28.
- Tomkins, C. (1996). *Duchamp*. (M. Martín, Trans.). Barcelona: Anagrama.
- Tzara, T. (1963). *Siete manifiestos dadá*. (H. Haltter, Trad.). Francia: Jean Jacques Panvert Editeur
- Urbina, N. (1983). El arte conceptual: punto culminante de la estética procesual o el arte como proceso. *Ultramar, revista de estudios estéticos*, (3), 24-33.
Retrieved from http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/20361/2/neida_urbina.pdf
- Villagómez, C. (2015). *Análisis de procesos de producción artística digital en México: artistas digitales mexicanos y su obra*. (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Valencia, España.

Vlad, C. A. (2009). Dadá: Bucarest, Zurich, París. Una historia del dadaísmo. *Quintana. Revista de Estudios Do Departamento de Historia Da Arte*, (8), 271–279.

ÍNDICE DE IMÁGENES

Realización de las imágenes por Agustín Rivera, excepto donde se indica

Fig.1. Las dimensiones topológicas en la *tetractys* de los griegos.

Fig.2. Comprobación del teorema de Pitágoras mediante el trazado de líneas. González, P. M. (2008). El teorema llamado de Pitágoras, una historia geométrica de 4.000 años. *Sigma*, (32), 103–130.

Fig.3. Proposición I.36 de los Elementos de Euclides.

Fig.4. Proposición I.41 de los Elementos de Euclides.

Fig.5. Razonamiento de Euclides para resolver el teorema de Pitágoras.

Fig.6. Infografía de la resolución de la primera parte del teorema de Pitágoras.

Fig.7. Pitágoras tocando el monocordio (izq.) y esquema de las proporciones aplicadas por él para encontrar sonidos armónicos (der.). Recuperado de <https://twitter.com/laurmondejar/status/1076804910417625088>

Fig.8. Dibujo de Leonardo da Vinci según las proporciones establecidas por Vitruvio. Recuperado de <http://duracreatividad.blogspot.com/2013/03/el-hombre-de-vitruvio.html>

Fig.9. Los cuerpos geométricos conocidos como “los cinco sólidos platónicos y su relación con los cuatro elementos. Recuperado de <http://abajocomoarriba.blogspot.com/2017/09/los-cinco-solidos-platonicos-las.html>

- Fig.10. Reproducción exacta del pentágono a través del proceso de autosimilitud.
- Fig.11. Lo que se creía sobre la división de la diagonal y un lado del pentágono en tiempos de Hipaso de Metaponto.
- Fig.12. Infografía sobre la inconmensurabilidad del pentágono.
- Fig.13. Explicación gráfica de la extrema y media razón.
- Fig.14. La sección áurea y manera de obtenerla geoméricamente. Recuperado de noticias.arq.com.mx/Detalles/20839.html
- Fig.15. El Partenón de Atenas y su construcción en base a la proporción áurea. Recuperado de http://2.bp.blogspot.com/_IM2gX_pgwUQ/SfTCmWCO4JI/AAAAAAAAAFsk/SpmVZBHW7Fc/s1600-h/golden+parth+small.jpg
- Fig.16. Esquema con la evolución del concepto *caos*.
- Fig.17. Esquema con los significados asociados para el azar.
- Fig. 18. Espacio de fases con la doble trayectoria en un problema de los tres cuerpos. Gribbin, J. (2006). *Así de simple: el caos, la complejidad y la aparición de la vida*. (M. García Garmilla, Trans.). Crítica.
- Fig.19. Ejemplo de un experimento donde el Caos aparece en una noria arreglada. Gribbin, J. (2006). Gleick, J. (1987). *Caos, la creación de una ciencia*.
- Fig. 20. La manera en que desarrolla el modelo de Lorenz para el clima en un espacio de fases. Gleick, J. (1987). *Caos, la creación de una ciencia*.
- Fig.21. Ejemplo de una sección de Poincaré a través de órbitas con un comportamiento no-lineal. Gleick, J. (1987). *Caos, la creación de una ciencia*.
- Fig.22. Atractor de Henon. Gleick, J. (1987). *Caos, la creación de una ciencia*.
- Fig.23. Explicación del principio fractal.

Fig.24. Explicación sobre lo que es un logaritmo.

Fig.25. Obtención de valores r y N para la fórmula Hausdorff-Besicovitch.

Fig.26 . Manera de obtener un copo de Koch.

Fig.27. Como se inicia un árbol de Pitágoras.

Fig.28. Obtención del árbol de Pitágoras 3D. Artacho, A. (2014).

Matemáticascercanas.com. El árbol de Pitágoras [entrada de blog].

Recuperado de <https://matematicascercanas.com/2014/06/03/el-arbol-de-pitagoras/>

Fig.29. Detalles sucesivos del conjunto de Mandelbrot.

Fig.30. Vista general del «Gran vidrio» de Marcel Duchamp. Recuperado de

<https://arte.laguia2000.com/escultura/el-gran-vidrio-duchamp>

Fig.31. Designación de cada grupo de elementos en el “Gran vidrio”. Recuperado

de <https://diegomassariol.wordpress.com/2014/01/30/391/>

Fig.32. Diferencia entre fractales exactos y estadísticos. Taylor, R. P. (2003). El

orden en el caos de Pollock. *Scientific American México*, 1(8), 56–61.

Fig. 33. Ejemplo de aplicación del *box counting* en la fórmula Mikowski-

Bouligand.

Fig.34. El *I Ching* o libro de las adivinaciones (detalle).

Fig.35. Distintas fases del juego del Caos. Gribbin, J. (2006). *Así de simple: el*

caos, la complejidad y la aparición de la vida. (M. García Garmilla, Trans.).

Crítica.

Fig.36. «La curva», pieza ensamblada por Abraham Cruzvillegas. Recuperado de

[http://myartguides.com/exhibitions/abraham-cruzvillegas-the-](http://myartguides.com/exhibitions/abraham-cruzvillegas-the-autoconstruccion-suites/attachment/9b1898765b05706822c819acc2093435/)

[autoconstruccion-](http://myartguides.com/exhibitions/abraham-cruzvillegas-the-autoconstruccion-suites/attachment/9b1898765b05706822c819acc2093435/)

[suites/attachment/9b1898765b05706822c819acc2093435/](http://myartguides.com/exhibitions/abraham-cruzvillegas-the-autoconstruccion-suites/attachment/9b1898765b05706822c819acc2093435/)

Fig.37. Esquema con el significado asignado por A. Cruzvillegas a 34 colores para

luego realizar una actividad performática con ellos. Recuperado de <https://www.amazon.es/DOCUMENTA-13-Cruzvillegas-Notes-100-Documenta/dp/3775729062>

Fig.38. Vista general de «Empty lot» en la Turbine gallery. Recuperado de <https://www.wallpaper.com/art/growth-opportunity-abraham-cruzvillegas-at-the-tate-turbine-hall>

Fig.39. El proceso del diseño de acuerdo a R. Fuentes.

Fig.40. Pieza «Sincronía» en la que interactuaban gotas de agua para configurar un sonido irregular.

Fig.41. Representación de una animación realizada con la ayuda de tres monitores de computadora que no estaban conectados entre sí.

Fig.42. Capturas de pantalla del video «Sincronía No. 3» en donde se ensamblaron diversos videos realizados de manera aleatoria.

Fig. 43. Vistas generales de la instalación de video «Sincronía No. 3» en los anexos de la Escuela de Artes de la Universidad de Guanajuato.

Fig.44. Cuaderno de notas donde se anotaron las primeras ideas para el proyecto de instalación desarrollado en el capítulo tres.

Figs.45 y 46. Otras anotaciones del cuaderno de apuntes.

Fig. 47. Visión general de la instalación desarrollada en el capítulo tres.

Fig.48. Capturas de pantalla de YouTube acerca de la creación de un sensor infrarrojo. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=DW0tG8578hQ>

Fig.49. Esquematización del funcionamiento de un sensor de paso con rayos infrarrojos.

Fig.50. Primer intento para armar el sensor infrarrojo.

Fig.51. Comprobación exitosa del sensor de paso.

Fig.52. Esquema del funcionamiento de sensor de paso con la inclusión del relay para que encienda y apague un foco de 110 v.

Fig.53. Diseño para una placa fenólica para ensamblar el sensor de manera definitiva.

Fig.54. Secuencia fotográfica con el proceso completo para grabar un circuito en la placa fenólica.

Fig.55. Proceso creativo llevado a cabo parcialmente para la instalación descrita en el capítulo tres.

Fig.56. Hallazgo de un atractor extraño en el goteo de un grifo. Recuperado de http://csc.ucdavis.edu/~chaos/courses/ncaso/Readings/Chaos_SciAm1986/Chaos_SciAm1986.html