



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



CINCCO
Centro de Investigación en Ciencias Cognitivas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS COGNITIVAS

**CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS EN PINTURAS DE
ARTE MODERNO Y SU EFECTO EN LOS JUICIOS ESTÉTICOS**

TESIS

que para obtener el grado de Maestro en Ciencias Cognitivas presenta:

Vicente Estrada González

Director:
Sinodales:

Dr. Markus F. Müller
Dr. Mathieu LeCorre
Dr. Gustavo Martinez-Mekler
Dr. Jorge Hermosillo Valadez
Dr. Uliyanov Montano Juárez

1. RESUMEN	3
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. APRECIACIÓN ESTÉTICA	5
2.1.1. DEFINICIÓN DE ESTÉTICA	5
2.1.2. ESTÉTICA DESDE ARRIBA Y ESTÉTICA DESDE ABAJO	6
2.1.3. WILHELM WUNDT	7
2.2. MÚSICA Y MODULACIÓN EN LA COGNICIÓN	8
2.2.1. ¿EFECTO MOZART?	8
2.2.2. <i>FOLDING & CUTTING PAPER TASK</i>	10
2.2.3. EVIDENCIA DEL EFECTO MOZART PRODUCIDO POR MÚSICA DE OTROS COMPOSITORES	10
2.2.4. PRUEBAS CONTUNDENTES DE QUE EL EFECTO MOZART APARECE EN INDIVIDUOS CON DIFERENTES PERFILES	12
2.2.5. EVIDENCIA DE QUE EL EFECTO MOZART OCURRE DE FORMA INDEPENDIENTE A UNA MODULACIÓN ANÍMICA	13
2.2.6. POSIBLES SUSTRATOS FISIOLÓGICOS QUE SUBYACEN AL EFECTO MOZART	14
2.3. EL CEREBRO COMO SISTEMA COMPLEJO Y DECODIFICADOR DE PATRONES	15
2.3.1. EL CEREBRO Y SU TOPOLOGÍA SMALL-WORLD	15
2.3.2. THE CRITICAL BRAIN HYPOTHESIS	16
2.3.3. EL CEREBRO COMO APARATO DE RECONOCIMIENTO DE PATRONES	17
2.3.4. MODULACIÓN DEL PUNTO EN EL ESPACIO FÁSICO DEL CEREBRO	18
2.4. COMPLEJIDAD EN EL ARTE	19
2.4.1. PROCESSING FLUENCY THEORY	20
2.4.2. CARACTERIZACIÓN DE LA COMPLEJIDAD EN OBRAS DE ARTE	22
2.4.2.1. BIRKHOFF MEASURE	22
2.4.2.2. LA LUCHA ENTRE DOS FUERZAS	22
2.4.2.3. DISTRIBUCIÓN BETA Y CARACTERIZACIÓN EN LAS ARTES	24
3. JUSTIFICACIÓN	27
4. OBJETIVOS	28
5. HIPÓTESIS	28
6. MÉTODO	29
6.1. MODELO PROPUESTO PARA GENERACIÓN DE IMÁGENES COMPLEJAS	29
6.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LA RELACIÓN ESCALAR INVARIANTE ENTRE ÁREAS	30
6.1.2. SOFTWARE EMPLEADO PARA LA GENERACIÓN DE IMÁGENES	32
6.2. EXPERIMENTO COMPORTAMENTAL	32
6.2.1. REACTIVOS EN LA EVALUACIÓN DE JUICIOS ESTÉTICOS	33
6.2.2. PARTICIPANTES	35
6.2.3. PROCEDIMIENTO	35

6.3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	36
7.	RESULTADOS	37
7.1.	AJUSTE A LA DISTRIBUCIÓN BETA DISCRETA GENERALIZADA	37
7.2.	RESULTADOS DEL EXPERIMENTO COMPORTAMENTAL DE MODULACIÓN DE LA DIMENSIÓN CROMÁTICA EN PINTURAS DEL PERIODO MODERNO EN LA HISTORIA DEL ARTE	42
8.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	42
8.1.	CONCLUSIONES ESPECÍFICAS DE LA EXPLORACIÓN DEL MODELO ESTOCÁSTICO PARA GENERACIÓN DE IMÁGENES COMPLEJAS	43
8.2.	CONCLUSIONES ESPECÍFICAS DEL EXPERIMENTO COMPORTAMENTAL DE EVALUACIÓN DE LA DIMENSIÓN CROMÁTICA EN PINTURAS DE ARTE MODERNO Y SU EFECTO EN LA PERCEPCIÓN ESTÉTICA	45
8.3.	ASPECTOS MÁS DESTACADOS DE LAS CONCLUSIONES	46
8.4.	INCERTIDUMBRES Y PRÓXIMOS PASOS	47
9.	ANEXOS	48
9.1.	UNA EJEMPLO DE LA TAREA <i>FOLDING AND CUTTING PAPER</i>	48
9.2.	IMÁGENES GENERADAS POR EL MODELO ESTOCÁSTICO DE GENERACIÓN DE IMÁGENES COMPLEJAS	48
9.3.	EJEMPLOS DE LAS MODULACIONES HECHAS EN EL ESPACIO DE COLOR HSV PARA PINTURAS DE POLLOCK Y MONDRIAN	49
10.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. RESUMEN

En 1993, Rauscher y colaboradores encontraron que el desempeño en pruebas de inteligencia mejora significativamente cuando se escucha previamente la sonata K448 de Mozart (Rauscher, Shaw, & Ky, 1993, 1995). En un estudio posterior, los mismos investigadores lograron replicar sus hallazgos con la misma sonata, pero no así con música de Phillip Glass (Rauscher et al., 1995). Dado que la música minimalista (Phillip Glass) se caracteriza por tener menor información (menos notas y acordes) que la música clásica (Mozart), los autores proponen que es la complejidad de la obra aquella que media la optimización de ciertas habilidades cognitivas. Sin embargo, no es propuesta una medida objetiva de dicha propiedad.

En el campo de la estética empírica, el grado de complejidad ha sido de gran interés a últimas fechas (Reber, Schwarz, & Winkielman, 2004). Se cree que la complejidad en obras de arte visual, podría determinar el gusto que se tiene por ellas, de tal forma que los individuos preferimos obras de arte que “reten” el intelecto a obras de arte fácilmente comprensibles (Belke, Leder, & Carbon, 2015).

Muchos autores coinciden en que el carácter complejo de un fenómeno cualquiera puede caracterizarse mediante una distribución de ley de potencia (*power law distribution*) (Casti, J. L.; Karlqvist, 2003). Esta distribución aparece en fenómenos que presentan organización jerárquica por bloques, transmisión de comunicación multiescalar y aparición de propiedades emergentes dependientes de la configuración específica de sus componentes (Flores-Valdés et al., 2011). En el 2009, Martínez-Mekler y colaboradores caracterizaron la distribución de los elementos de obras de arte visual y musical (Martínez-Mekler et al., 2009), proponiendo así una medida objetiva de complejidad en el campo artístico.

Si, tal como propone Rauscher, es la complejidad de la música aquello que logra modular las funciones cognitivas, cabe suponer también que estímulos visuales complejos podrían modular de la misma forma dichas funciones.

El presente trabajo exploró un modelo estocástico de generación de imágenes, intentando encontrar una relación escalar invariante, tal como aparece en las distribuciones de ley de potencia. Los hallazgos señalan que nuestro modelo es susceptible de mejoras para encontrar dicha relación, por lo que otros modelos deberán ser analizados con el fin de comprobar si el Efecto Mozart ocurre al observar, y no simplemente escuchar, obras de arte.

Ya que las dos principales dimensiones de una pintura – o imagen – es, por un lado, la configuración de sus elementos y, por otro, la dimensión cromática, la segunda parte de este estudio intentó mostrar que la complejidad (contenida en dicha configuración) es completamente responsable de la modulación cognitiva que da lugar al juicio estético. Para ello, se exploró la modulación de los elementos vectoriales del espacio de color HSV en pinturas pertenecientes al periodo moderno. Los hallazgos muestran, sorprendentemente, que la brillantez es responsable de que percibamos una pintura *interesante y compleja*.

*“The love of complexity without reductionism makes art;
the love of complexity with reductionism makes science.”*

Edward O. Wilson, *Consilience* (1998)

2. MARCO TEÓRICO

2.1. APRECIACIÓN ESTÉTICA

En el presente apartado, el lector encontrará datos históricos sobre los primeros intentos por abordar problemas estéticos desde la ciencia. Cabe mencionar que este apartado es prescindible para la comprensión de la tesis y que el único propósito es el de contextualizar al lector en una línea histórica que desemboca en la presente investigación.

2.1.1. Definición de Estética

La palabra estética proviene del griego *aisthesis* y da nombre a la disciplina que hoy en día se encarga del estudio de lo bello, el gusto y los juicios y valores sensorio-emotivos que resultan del contacto con ciertos objetos del medio (Bayer, 1961).

Aunque es bien sabido que la discusión sobre lo bello, lo sublime y los efectos y motivos de las manifestaciones artísticas han sido, desde el principio de la historia, objeto de discusión y análisis, es hasta el siglo XVIII donde la estética adquiere independencia conceptual y es diferenciada del estudio de la moral e incluso de las leyes jurídicas – disciplinas que en aquella época, fueron vinculadas estrechamente a cuestiones que hoy en día son de interés particular de la estética - (Kant, 1799).

El término estética fue acuñado por el filósofo berlinés Alexander G. Baumgarten. En su libro *Aesthetica*, la estética es definida como una disciplina seria y autónoma: la “ciencia del conocimiento sensible” (Baumgarten, 1750) .

De las aportaciones más importantes hechas por A. G. Baumgarten, cabe resaltar aquella de la cual se desprende toda su teoría: el repudio por el predominio de “la verdad utópica” sobre las leyes de la naturaleza, es decir, el intento de explicar las manifestaciones estéticas desde el campo de la metafísica y no desde el empirismo. Para A. G. Baumgarten la estética, equiparable a cualquier otra ciencia, forjaba sus bases en las leyes de la lógica. Además, el filósofo alemán consideraba al gusto como una facultad producto del ejercicio estético –de la apreciación y la

contemplación-; el cual, de la misma forma que cualquier otra facultad humana, era desarrollado gracias al entrenamiento práctico (Montaño, 2012).

En resumen, la estética, tal como la conocemos hoy en día, fue concebida en su génesis como una ciencia, cuya configuración es un símil de la estructura lógica y, por ello, sus hallazgos son susceptibles de comprobación y replicabilidad.

2.1.2. Estética desde arriba y estética desde abajo

El, así conocido, padre de la fisiología, Gustav Fechner, realizó sus principales aportaciones a la ciencia en la investigación sobre los umbrales físicos multimodales. Fue Fechner quien clasificó en dos las cuestiones concernientes a la estética: 1) “La estética desde arriba”.- donde cualquier abordaje es hecho desde la metafísica y la filosofía y 2) “La estética desde abajo”.- donde se llega a cualquier conclusión por medio de investigación basada en el método científico (psicológica, principalmente)-(Vygotsky, 1971).

Influenciado por su vocación científica, Fechner hizo de la “estética desde abajo” su objeto de estudio. Para ello, ideó una serie de experimentos que consistían en la presentación de estímulos (figuras y piezas musicales) a personas en condiciones ambientales controladas. Sus inquietudes dentro de las artes plásticas, se centraban principalmente en las respuestas suscitadas frente a la apreciación de figuras geométricas básicas (Phillips, Norman, & Beers, 2010). En su *Vorschule der Aesthetik*, G. Fechner estudió las formas “primarias” consideradas como bellas, basándose meramente en aspectos físicos de figuras geométricas (Fechner & Höge, 1876). Partiendo de datos empíricos, Fechner mostró que existe una inclinación jerárquica por las siguientes figuras: cuadrados, círculos, elipses y líneas onduladas. Del mismo modo, Fechner encontró que las personas suelen juzgar bellas a las figuras que, en contraste con otras, mantienen una proporción de $1 + \sqrt{5}/2$ (φ). Dicha proporción es conocida como divina proporción o *Golden Ratio*, y fue un interés compartido por Adolf Zeising, psicólogo alemán del siglo XIX (Zeising, 1855). A. Zeising sostenía que la proporción entre los elementos de distintos cuerpos en la naturaleza, las ramas y troncos en los árboles, las extremidades del cuerpo humano, por ejemplo, correspondían

al número φ , y que esta relación aparecía también en distintas obras de arte visual (Fechner & Höge, 1876; McManus, Cook, & Hunt, 2010).

G. Fechner, intrigado por lo propuesto por A. Zeising, decidió hacer un experimento en donde varió la proporción en los lados de varios rectángulos, comenzando por la razón 21:34 – la cuál corresponde aproximadamente a φ - aumentando y disminuyendo la proporción hasta llegar a proporciones distales (1:1 y 5:2). En concordancia a lo presupuesto, el rectángulo que agradó más a las personas (independiente al género de los participantes) fue el correspondiente a φ , seguido por las razones 23:13, 2:1 y 1:1 (Fechner & Höge, 1876). No obstante, existen muchas investigaciones posteriores que contradijeron estos hallazgos (Fendius, K. 2016). Lo importante de esto es evidenciar los primeros intentos por caracterizar las propiedades físicas de estímulos relacionados con la apreciación estética.

Los intereses de G. Fechner no se limitaron a las proporciones de las figuras geométricas y su relación con la percepción de la belleza, sino que la simetría, los colores y sus posibles combinaciones fueron también su objeto de estudio. (Winger Bagley, 1902).

2.1.3. Wilhelm Wundt

La experiencia estética derivada de las artes plásticas no ha sido, por supuesto, el único objeto de estudio de la estética empírica. El psicólogo estructuralista Wilhelm Wundt se interesó principalmente por la, así llamada, sensación temporal (*Zeitempfindung*) y dentro de ésta tocó ampliamente cuestiones musicales. Para W. Wundt la experiencia musical no estaba circunscrita a lo puramente auditivo, sino que la transmisión de información involucraba también la locomoción y, por tanto, las sensaciones musculares del escucha (Hallam, Cross, & Thaut, 2009). A pesar de pertenecer a la corriente psicológica denominada entonces *estructuralismo*¹, Wilhelm Wundt sostenía que: “*el conjunto de los fenómenos rítmicos está ligado a una función*

¹ Corriente psicológica del siglo XX, la cual sostiene que la comprensión de la *psique* humana es inalcanzable de no ser por medio del escrutinio y análisis minucioso de cada elemento que compone la experiencia.

psíquica general, a saber, la agrupación de sensaciones sucesivas por la cual la serie de impresiones acústicas sin nexos entre sí se transforma en un todo que podemos dominar [...]”
(Bayer, 1961)

A raíz de los experimentos que Wundt llevó a cabo, él mismo concluyó que el *arousal*, o excitación, está relacionado con la complejidad de la estimulación musical y que el placer estético resultante de ésta es evocado siempre que el estímulo sea óptimamente complejo (Wundt, 1905). La pregunta que salta es, justamente: ¿qué es algo que es óptimamente complejo? o, más pertinente aún: **¿qué es complejidad, y cómo puede ser medida?**

Aunque dichas cuestiones serán tratadas a detalle en apartados posteriores, cabe señalar aquí que, por lo menos durante el siglo XX, nadie había propuesto una definición operacional o incluso una descripción con parámetros objetivos para medir la complejidad en obras de arte.

Por último, tal como Wilhelm Wundt, muchos otros fueron atraídos por la idea de que la música podría modular funciones cognitivas a través de su manipulación. En el siguiente capítulo se trata el fenómeno más popular relacionado con, justamente, las repercusiones cognitivas derivadas de la exposición a piezas musicales.

2.2. MÚSICA Y MODULACIÓN EN LA COGNICIÓN

2.2.1. ¿Efecto Mozart?

Al final de los 70, Alfred Tomatis creó un programa para acelerar el desarrollo del lenguaje y aprendizaje. El programa, que hoy en día sigue implementándose, consistía en 90 horas de exposición a ciertas piezas musicales. A lo largo del tratamiento, un filtrado de frecuencias bajas de la señal sonora tenía lugar, el cual aumentaba progresivamente, de tal modo que al finalizar, los participantes solo escuchaban frecuencias por encima de 8,000 Hz. Las piezas musicales consistían principalmente de cantos gregorianos y composiciones de Wolfgang A. Mozart (Gerritsen, 2010). Tomatis no solo encontró que hay aceleramiento en aprendizaje y desarrollo de habilidades lingüísticas para los sujetos sanos expuestos a su tratamiento, sino que personas con afasias y autismo veían mejoradas sus habilidades cognitivas del lenguaje y viso-espaciales

en la evaluación Stanford-Binet de IQ. Cabe señalar que las diferencias significativas reportadas fueron de medidas repetidas antes y después del tratamiento (B. M. Thompson & Andrews, 2000). De lo anterior, los autores deducen un cambio cerebral plástico que influye en el despliegue de ciertas habilidades intelectuales, el cual surge de la presentación crónica de piezas musicales específicas, tales como música de Mozart y cantos gregorianos.

La multiplicidad de variables en los hallazgos previos deja incógnitas sin resolver en cuanto a qué estímulos específicamente están generando los efectos mencionados. Por suerte, el *Método Tomatis* adquirió tal popularidad que despertó la curiosidad de muchos, entre ellos un grupo de investigadores de la Universidad de Irvine, en California que en 1993 comenzaron una serie de investigaciones que consolidarían lo que Tomatis hubo a bien llamar el *Efecto Mozart* en su libro *¿Por qué Mozart?* (Gilmor, 1999; B. M. Thompson & Andrews, 2000).

En Irvine, el equipo de Rauscher comenzó a realizar una serie de experimentos, basándose en el principio de Mountcastle de organización citoarquitectónica² de la corteza cerebral, el cuál supone que las habilidades viso-espaciales están estrechamente ligadas a otras habilidades, en apariencia distantes, como el análisis matemático, la destreza en el ajedrez y la apreciación musical; gracias a la configuración neuronal de los mamíferos evolucionados (Leng, Shaw, & Wright, 2016). El argumento utilizado por Rauscher para sus primeros experimentos fue que, dado que Tomatis había encontrado los hallazgos previamente mencionados y estos posiblemente se debían a que los disparos neuronales de la corteza cerebral incrementaban de forma espacio-temporal, valía la pena investigar si las funciones cognitivas ligadas a estas habilidades (las espacio-temporales) se veían también mejoradas. Así, en 1993, se encontró que la exposición aguda a la sonata K448 de Mozart producía un incremento en el desempeño de tareas viso-espaciales (Rauscher et al., 1993).

Los resultados mostraron un incremento de 8 a 9 puntos de I.Q. para aquellos que previamente escucharon Mozart, en comparación con los otros dos tratamientos. El experimento se enfocó

² El principio de Mountcastle indica que, debido a la organización en forma de columna de los cuerpos neuronales, existe una comunicación multimodal en la corteza somatosensorial que permite el desarrollo de ciertas funciones cognitivas a causa de otras.

exclusivamente en la sección de habilidades viso-espaciales de la prueba Stanford Binet (Rauscher et al., 1993), evaluados por medio de la tarea llamada *Folding and Cutting Paper*. Algunos ejercicios de la prueba se encuentran en el Anexo 9.1 del presente trabajo.

Desde 1993 a la fecha, el experimento se ha replicado exitosamente. Las variantes que diferentes grupos de investigación han realizado, han logrado dilucidar varios aspectos que subyacen a tal fenómeno. Dichas variantes han ido desde el cambio de la composición musical a la que los participantes han sido expuestos, hasta el tipo de tareas a resolver (Pietschnig, Voracek, & Formann, 2010).

2.2.2. *Folding & Cutting Paper Task*

La tarea *Folding & Cutting Paper* es una subprueba de la *Stanford-Binet Intelligence Scale*. La quinta y última edición fue publicada en 2003 y en su nombre es atribuido al psicólogo Alfred Binet, profesor de la Universidad de Stanford. La quinta edición evalúa habilidades cognitivas tales como el razonamiento fluido, cuantitativo, memoria de trabajo, I. Q. verbal y no verbal, y el procesamiento viso-espacial, del cual se desprende la prueba F&CPT (Becker, 2003).

La F&CPT evalúa las habilidades que un individuo posee para seguir mentalmente una serie de instrucciones que dictan doblar y cortar una hoja de papel. Al final del test, después de seguir las instrucciones ilustradas por imágenes, se presenta una serie de opciones que muestran posibles resultados de cómo luciría la hoja de papel después de haber seguido las instrucciones; de las cuales el sujeto evaluado tiene que elegir la que considera ser la opción correcta (Anexo 9.1).

Al ser ésta una tarea secuenciada, la prueba evalúa capacidades viso-espaciales principalmente, pero también de abstracción y de memoria de trabajo, (Steele, 2001).

2.2.3. Evidencia del Efecto Mozart producido por música de otros compositores

Con el objeto de clarificar qué tipo de estimulación reciben los sujetos para poder incrementar sus capacidades viso-espaciales, tal como ocurre en el Efecto Mozart, varios grupos de

investigación se han dado a la tarea de probar si es cualquier tipo de estimulación musical la que podría promover las funciones cognitivas, o si es algo específico dentro de la música de Mozart.

En 1997, por ejemplo, Cash y colaboradores (Cash, el-Mallakh, Chamberlain, Bratton, & Li, 1997) encontraron que música de Béla Bartók y Johann Pachebel pueden incrementar los puntajes del F&CPT de la batería Stanford Binet en modo similar que la música de Mozart. En 1999, Nantais y su grupo de investigación encontraron que la pieza Fantasía del compositor Franz Schubert lograba incrementar el puntaje de la prueba F&CPT de la misma forma en la que la música de Mozart lo hacía (Nantais & Schellenberg, 1999). Asimismo, música de Johann Sebastian Bach y Ludwing van Beethoven generan el mismo efecto de forma significativa (Bodner, Muftuler, Nalcioglu, & Shaw, 2001; Ivanov & Geake, 2003).

Vemos hasta ahora que varios tipos de composiciones de música clásica logran modular las funciones cognitivas del mismo modo en que lo hace la música de Mozart. Para dilucidar si es exclusivamente la música clásica capaz de generar dicho fenómeno, en 2002 se realizaron un par de experimentos que comprobaban que otro tipo de estimulación musical lograba hacer que los individuos puntuaran más alto que el promedio en pruebas de inteligencia. McKelvie y colaboradores demostraron que el Efecto Mozart generado por música clásica y aquel que lograron inducir al exponer a los participantes a música popular fue prácticamente idéntico (McKelvie & Low, 2002); del mismo modo como demostró Hallam con música infantil extraída de películas de Disney (Hallam, Price, & Katsarou, 2002).

En contraste, ciertas composiciones de música clásica tales como el Adagio de Tomaso Albinoni (W. F. Thompson, Schellenberg, & Husain, 2001) y otras de J. S. Bach (Bridgett & Cuevas, 2000) no logran inducir ningún cambio en el puntaje en escalas de inteligencia.

En este punto podemos deducir que no es su condición de *música clásica* lo que hace que los estímulos auditivos induzcan mejoras en la ejecución de tareas viso-espaciales, sino que es una propiedad compartida por ciertas obras de música clásica y otros tipos de música aquella que genera los resultados que hemos discutido previamente. La pregunta en este momento debe ser entonces: ¿qué propiedades compartidas entre distintos tipos de música son las que propician

modulaciones cognitivas tales como para mejorar la ejecución de las personas en tareas de inteligencia? El mismo Rauscher (1995), sugiere que la complejidad en obras de arte podría ser el generador del Efecto Mozart; aunque nunca menciona qué entiende por *complejidad* y cuales son las características que la compondrían. En esta investigación de 1995, se contrastan los efectos de la música de Philip Glass y del mismo Mozart, y se encuentra que la música minimalista de Glass no produce los resultados esperados (Rauscher et al., 1995).

La música minimalista se caracteriza por su estática, modulación armónica lenta y por el uso mínimo de acordes musicales; rasgos que podrían hacerla parecer más ordinaria que la música clásica. Este es el hecho en el que Rauscher se basa para sugerir que un estímulo carente de complejidad no logra generar un efecto psicológico dependiente de estimulación por estímulos complejos.

Además, existen dos incógnitas (por lo menos) latentes acerca del Efecto Mozart: 1) ¿Qué cambios cognitivos tienen lugar cuando éste ocurre? y 2) ¿Qué sustratos fisiológicos le subyacen? Dichos cuestionamientos serán abordados en los apartados posteriores.

2.2.4. Pruebas contundentes de que el Efecto Mozart aparece en individuos con diferentes perfiles

Algunas de las críticas que han tenido los estudios que apoyan la existencia del Efecto Mozart, están circunscritas al perfil que podrían tener los estudiantes universitarios (condición compartida por la mayoría de los participantes, principalmente en los experimentos de Rauscher). La observación principal es que el nivel académico de este tipo de individuos haría más probable su previo acercamiento a piezas de música clásica; lo que propiciaría que, al escuchar música que les resultara familiar, su estado de ánimo se tornase positivo, lo que a su vez los posicionaría mejor para responder a las pruebas de inteligencia (Steele, Bass, & Crook, 1999).

De lo anteriormente planteado, podemos rescatar dos puntos importantes: 1) Se necesitaría evidencia que demostrara que el Efecto Mozart no ocurre en un tipo específico de individuos,

sino que tiene lugar en cualquier persona sin importar sus antecedentes. 2) Se plantea la posibilidad de que el Efecto Mozart sea el resultado de un cambio anímico y no de procesamientos cognitivos de alto nivel. El punto uno puede clarificarse con los hallazgos mencionados a continuación mientras que el segundo punto será tratado en el apartado 2.2.5.

En 1997, Rideout encontró que los efectos producidos por escuchar Mozart sucedían indistintamente en ambos géneros: masculino y femenino (Rideout & Laubach, 1996). Un caso más que vale la pena mencionar es el investigado en 1998 por Johnson y colaboradores (Johnson, Cotman, Tasaki, & Shaw, 1998), quienes encontraron que las habilidades cognitivas de pacientes con Alzheimer mejoran también al ser expuestos a música de Mozart.

Por otro lado, y de manera sorprendente, se ha encontrado que el Efecto Mozart ocurre también cuando los experimentos son llevados a cabo con modelos animales. Dichos experimentos han comprobado que las habilidades para resolver laberintos en ratas y pollos son mejoradas si se expone a los sujetos experimentales a música de Mozart (Sutoo & Akiyama, 2004; Toukhsati & Rickard, 2001).

2.2.5. Evidencia de que el Efecto Mozart ocurre de forma independiente a una modulación anímica

Como vimos en el apartado anterior, una posibilidad planteada es que el Efecto Mozart no dependa de la estimulación en funciones cognitivas de alto nivel, sino que simplemente esté supeditado al estado de ánimo tornado positivo gracias a la música. No obstante, existe evidencia de que el estado de ánimo no es determinante para que el Efecto Mozart tenga lugar.

El término *arousal* es empleado dentro de la psicología y se refiere al grado de alerta, estrechamente relacionado con el incremento en la intensidad de estados emocionales. El *arousal* puede detectarse con métodos fisiológicos, tales como la medición de la respuesta galvánica de la piel y con baterías psicológicas.

En un estudio mencionado en apartados anteriores, Thomson y cols. encontraron que la música de T. Albinoni, a diferencia de la música de Mozart, no producía efectos en el desempeño de pruebas de inteligencia. No obstante, los autores midieron los niveles de *arousal* inducidos por ambas piezas sonoras, encontrando que ambas incrementaban dichos niveles de forma significativa (W. F. Thompson et al., 2001). En el 2006, Jones y cols. replicaron satisfactoriamente los resultados de Rauscher, encontrando el Efecto Mozart, el cual mostró, por medio de cuestionarios realizados a los participantes, no depender del grado de preferencia o del estado anímico de éstos (Jones, West, & Estell, 2006).

La pregunta que salta en este momento es: si el estado anímico es independiente a la aparición del Efecto Mozart.

2.2.6. Posibles sustratos fisiológicos que subyacen al Efecto Mozart

El análisis fisiológico es una de las herramientas que tenemos hoy en día para corroborar la especificidad de los mecanismos cognitivos que están detrás de ciertas conductas.

Sarnthein encontró que en aquellos participantes sometidos a estudios de electroencefalografía (EEG), existe una correlación entre el escuchar música clásica y un incremento de potencias en las frecuencias delta, theta y alpha en la región fronto-temporal derecha (Sarnthein et al., 1997). Estos hallazgos han sido apoyados por aquellos encontrados por Jausovec en 2006 (Jausovec, Jausovec, & Gerlic, 2006), en donde se muestra mayor sincronización en las bandas de frecuencia alpha y gamma (muestras extraídas por medio de EEG) que correlacionan con escuchar música de Mozart y que, a su vez, se ha visto correlacionar con efectos relacionados al *priming*³.

Los autores concluyen que la actividad electroencefalográfica que aparece en presencia del Efecto Mozart, ha sido encontrada también al jugar ajedrez, actividad relacionada con estrategia y procesamiento de pasos secuenciados. Esto indicaría que el escuchar ciertos tipos de música

³ Término empleado en psicología para referirse al fenómeno de evocación de sensaciones, emociones o ideas a causa de la exposición a un estímulo previamente conocido.

podría evocar en los participantes estados cognitivos que subyacen a este tipo de actividades (jugar ajedrez), haciendo del escuchar música un ejercicio previo a la tarea F&CPT que fungiría como *priming* de la misma (Sarnthein et al., 1997). Dicho de otro modo, la similitud de los mecanismos cognitivos reclutados en presencia del escuchar la Sonata K 448 y al jugar ajedrez es tal que la ejecución de una facilita a la otra.

Si al escuchar ciertos tipos de música, se evocan los mismos mecanismos viso-espaciales que los utilizados en el F&CPT y, a causa de ello, el Efecto Mozart puede explicarse en términos de *priming*, falta aún saber, como se ha mencionado previamente, específicamente qué propiedades físicas de las piezas sonoras logran evocar estos mecanismos. Por último, comprender el funcionamiento del cerebro puede ayudarnos a responder por qué ciertos patrones del medio ambiente son preferidos a otros. De ellos hablaremos a fondo en el siguiente apartado.

2.3. EL CEREBRO COMO SISTEMA COMPLEJO Y DECODIFICADOR DE PATRONES

“Si la complejidad es un concepto científico significativo, debería ser medible [...]. Un posible aparato de medición que sobresale entre todos es en sí mismo altamente complejo: el cerebro humano.” (Stephens, 2011).

2.3.1. El cerebro y su topología small-world

Una forma eficaz de comprender el funcionamiento de un sistema es a través de la exploración de su organización. El cerebro humano contiene aproximadamente 10^{12} neuronas, las cuales, a su vez, pueden hacer 10^3 conexiones con otras neuronas, lo cual implica que las posibles conexiones dentro del cerebro sean de 10^{15} (Young, 1993). Comprender la organización de dicho órgano ha sido de interés científico en el último par de décadas. Los análisis topológicos de la anatomía cerebral en primates han dejado ver que el cerebro es semejante a una red de mundo pequeño⁴ (Young, 1993). En este caso particular, las conexiones neuronales se caracterizan por ser de alta

⁴ La topología de una red de mundo pequeño se caracteriza por un equilibrio entre conexiones vecinas y una pequeña cantidad de conexiones aleatorias de largo alcance.

densidad entre vecinos, pero también por lograr, gracias a conexiones de largo alcance, una longitud de trayectoria corta en el promedio de todas las conexiones posibles (Stephan et al., 2000; Young, 1993). Este particular tipo de organización ha permitido que el cerebro economice el costo que las conexiones de larga distancia implica, pero que la comunicación interna se mantenga con una dinámica compleja (Bassett & Bullmore, 2006).

En diversos modelados computacionales de redes se ha encontrado que el punto medio entre un “cableado” completamente aleatorio (desorden) y uno que distribuye todas las posibles conexiones de forma homogénea entre todos los nodos (orden), es donde se encuentran las redes de mundo pequeño. La topología de mundo pequeño ha sido de gran interés para el estudio de los sistemas complejos ya que dicho punto medio entre el orden y el desorden es característico de una gran variedad de ellos. Para Stephens (2011), las características que distinguen un sistema complejo son las propiedades emergentes que resultan de “las interacciones a lo largo de diferentes niveles de bloques constitutivos [...]” que no son “ni muy estable(s) ni muy inestable(s)”.

La idea del punto medio entre el orden y el desorden ha sido extensamente explorada por la mecánica estadística al estudiar las transiciones de fase (especialmente las de segundo orden), las cuales denotan criticalidad en el sistema (Stephens, 2011).

2.3.2. The Critical Brain Hypothesis

The Critical Brain Hypothesis fue un título dado por Brochini (2016) para referirse a una serie de investigaciones que han sugerido al cerebro como una “red neuronal que trabaja cerca de la transición de fase” (Brochini et al., 2016) y que, gracias a ello, logra la transmisión y procesamiento de información de forma rápida y eficiente. Una de las publicaciones que promovieron la articulación de dicha teoría fue *The Brain near the Edge* (Chialvo, 2007), en donde se explica por qué el punto crítico en el que se encuentra el cerebro se asemeja al punto crítico de las transiciones de fase de segundo orden. Pero ¿qué es una transición de fase? Las transiciones de fase se caracterizan por los cambios radicales en las propiedades macroscópicas de un sistema, los cuales son dependientes del ajuste de ciertos parámetros que acercan a dicho sistema a puntos de criticalidad. En estos puntos de criticalidad, aparecen propiedades

emergentes, tales como estructuras fractales, patrones dinámicos complejos y correlación de más largo alcance (Solé, Manrubia, Luque, Delgado, & Bascompte, 1996); esta última responsable de la cognición, los estados emocionales y los procesos motores (Chialvo, 2010). Ejemplos de las transiciones de fase de primer orden son los cambios de estados de agregación de la materia – ej: hielo a agua -, en donde la discontinuidad se da en la primera derivada del potencial de Gibbs, y tiene como resultado el cambio macroscópico de un estado de materia a otro. Por otro lado, el ferromagnetismo es un ejemplo de transición de fase de segundo orden – tipo de transición de fase que Chialvo propone es donde se encuentra el cerebro-; este fenómeno ocurre cuando un cuerpo sólido conocido como ferromagneto (ej: hierro) pasa de un estado paramagnético, es decir, con nula magnetización, a un estado magnético. Cuando el cuerpo se encuentra en estado paramagnético, los momentos de partículas elementales – conocidos también como *spins*- están alineados azarosamente, de tal forma que la suma de la magnetización es cero. Después, al decrementar la temperatura, los *spines* comienzan a alinearse, dando paso así a la magnetización del hierro. Este cambio abrupto entre paramagnetización y magnetización tiene un *punto crítico* justo antes de que la transición ocurra. En el cerebro, la criticalidad permite que pequeños cambios en una región determinada repercutan en grandes cambios (en términos de disparos neuronales) en otras regiones y que así mejoren las capacidades asociadas al procesamiento de información. Brochini propone como posible causa un cambio plástico de corto plazo ubicado probablemente en el segmento inicial de los axones (Brochini et al., 2016). Sea cual sea la causa, la criticalidad que caracteriza al cerebro podría estar hablando no solo de qué tipo de organización posee este órgano, sino también de qué clase de estimulación requiere procesar para funcionar.

2.3.3. El cerebro como aparato de reconocimiento de patrones

El próximo año (2019) se celebrarán 60 años de la publicación de *Receptive Fields of Single Neurons in the Cats Striate Cortex* (Hubel & Wiesel, 1959). Esta publicación resultó un parteaguas para las neurociencias pues describió cómo es que las neuronas responden de forma hiper-especializada a estímulos particulares (Kandel, 2014). En su investigación, Hubel y Wiesel evidencian cómo es que un tipo de neuronas corticales del gato reaccionan a líneas verticales y otras hacen lo propio con líneas horizontales (entre otros hallazgos también

importantes). Esto nos indica la forma más elemental de reconocimiento de patrones del cual se encarga el cerebro.

No obstante, los patrones que podemos encontrar en la naturaleza son bastante más complejos que líneas con determinada orientación. Justamente, el estudio de los sistemas complejos nos han mostrado la ubicuidad de ciertas características en los fenómenos naturales, tales como la invarianza escalar entre las magnitudes de dichos bloques, etc (Stephens, 2011). Ya que existen investigaciones que sustentan que el nivel de sofisticación para decodificar patrones es superior en los humanos que en otros mamíferos (Mattson, 2014), cabe suponer que dicha sofisticación es la responsable de que subproductos de la cultura tengan lugar, tales como la creatividad, la prospección y la comunicación a través del lenguaje; todos ellos relacionado con la decodificación de patrones e identificación de los mismos.

Si el cerebro humano, como sistema complejo, ha evolucionado de tal forma que su función principal es la de reconocer patrones cada vez más complejos en la naturaleza (Müller, 2018) y, además, esto le ha permitido *crear* objetos con una organización de patrones tal que emule el comportamiento de la naturaleza, cabría deducir dos cosas: 1) Las creaciones humanas que resultan de un alto nivel de sofisticación en la decodificación de patrones complejos y en su emulación (como la creación artística), deberían ser mejor aceptadas por aquellos humanos con un aparato de reconocimiento de patrones (cerebro) del mismo nivel de sofisticación. 2) Dicho aparato de reconocimiento de patrones es susceptible, como todo aparato, de ser calibrado. El inciso 1 será tratado a detalle en el siguiente capítulo (2.4); mientras que el inciso 2 puede encontrar explicación si antes comprendemos el concepto de *espacio fásico*.

2.3.4. Modulación del punto en el espacio fásico del cerebro

El espacio fásico es un concepto derivado de la mecánica clásica el cual refiere a una representación matemática de todos los estados dinámicos posibles de un sistema. Así, un punto del espacio fásico denota un estado dinámico susceptible de ser ocupado por un sistema. Por tanto, los estados del cerebro pueden ser representados en dicho espacio fásico. De esta forma, cada proceso cognitivo puede ser representado como un punto específico en el espacio fásico del

cerebro, tales como procesos mnemónicos, procesos perceptuales, procesos ejecutivos, etc. Dicho lo anterior, y teniendo en cuenta que la estimulación del medio ambiente puede modular la localización del punto en el espacio fásico, podemos suponer que existe un cierto tipo de estimulación que empuja al sistema a un estado dinámico óptimo (más conveniente que otros) para resolver tareas viso-espaciales. Por ejemplo, un estudio realizado por Müller y cols. (2015) descubrió que un cierto tipo de estimulación auditiva (sincrónica) mejora el desempeño de jugadores en un partido de futbol. Los autores justifican lo anterior diciendo que esta estimulación auditiva colocó el sistema dinámico (el equipo de futbol) en un punto del espacio fase que optimizó su ejecución en el juego.

Por último, recordemos lo mencionado en el apartado 2.2, en donde se habló de cierto tipo de estimulación que hace posible que nuestro aparato cognitivo responda mejor a pruebas de inteligencia. La propuesta que deseamos hacer aquí es que la música de cierto tipo (Mozart, Bartok, Pachebel, etc), a diferencia de la música minimalista (Glass), por ejemplo, logra llevar al sistema a un punto del espacio fásico que le permite un mejor desempeño en pruebas de inteligencia. Dicho de otra forma, la activación del sistema (el cerebro concebido como aparato de reconocimiento de patrones complejos), derivada de estímulos con una configuración compleja, puede llevarlo a un punto en el espacio fásico donde las subsecuentes tareas de decodificación de patrones resulten más sencillas o asequibles (Müller, 2018).

2.4. COMPLEJIDAD EN EL ARTE

Tal como se mencionó en el apartado 2.3.3, ciertos aparatos cognitivos (cerebros) deben presentar un mayor nivel de sofisticación para la decodificación de patrones en comparación con otros. Por lo tanto, debe existir un nivel de complejidad en la configuración de ciertos estímulos que sea más comprensible para un tipo de personas que para otras. De todas las creaciones hechas por el ser humano, el arte ha sido recientemente estudiado en dichos términos, es decir, se ha supuesto que ciertas obras de arte pueden resultar más atractivas que otras por su grado de complejidad. Esta visión será explicada en los siguientes apartados.

2.4.1. Processing Fluency Theory

En el campo de la estética empírica, una de las incógnitas más grandes hasta nuestros días ha sido: ¿Qué produce la apreciación estética? (Belke et al., 2015). Según el modelo de Leder del 2004, la apreciación estética es el resultado de una serie de pasos en la experiencia personal al apreciar una obra de arte (Leder, Belke, Oeberst, & Augustin, 2004). Dicha secuencia de pasos incluye la etapa de “dominio cognitivo” (*the cognitive mastering stage*), en la cual el espectador reduce la ambigüedad de una obra de arte por medio la decodificación de patrones.

En el mismo año, Winkielman propuso que el placer estético derivado de la apreciación de una obra de arte está estrechamente relacionado con la transmisión del *aboutness*⁵, dicho en otras palabras, el espectador aprecia una obra de arte en la medida que la comprende (Reber, Schwarz, & Winkielman, 2004a). De lo anterior, se derivó lo que hoy en día se conoce como la teoría del procesamiento fluente (*The Processing Fluency Theory*), la cual sostiene que las características preferidas en varias obras de arte, dadas como la simetría, el contraste figura-fondo, la repetición y la prototipicidad (Arnheim, 1955), incrementan la facilidad de procesar la información visual y, con ello, el subsecuente estado de placer.

Recientemente, Leder (2015) ha propuesto otra interpretación para las conjeturas hechas por Winkielman. Según Leder, *the Processing Fluency Theory* no explica el gusto por obras de arte que se caracterizan por contenido conflictivo, novedoso o sorprendente; el cual más que facilitar el procesamiento de información sobre la obra, pareciera instar al espectador a resolver un problema (Belke et al., 2015). Además, existe evidencia de que el ser humano encuentra más gratificante la resolución de problemas que exigen un esfuerzo cognitivo (Ramachandran & Hirstein, 1999).

Para comprobar lo expuesto en el párrafo anterior, Leder diseñó un experimento en el que probó el grado de placer generado por dos tipos de obra: el primero denominado *fluency* (que se conformaba por obra de arte simple) y el segundo *mastery* (conformado por obras complejas).

⁵ Término empleado por Arthur Danto referido a la intencionalidad del artista al ejecutar la obra de arte.

Dichas clasificaciones fueron creadas por medio de una previa evaluación mediante una batería de reactivos psicológicos (Belke et al., 2015). Los hallazgos encontrados confirman lo supuesto por Leder, es decir, las obras de arte que logran producir estados placenteros son aquellas catalogadas con mayor grado de complejidad. Además, se mostró que esto no era influenciado por el *expertise* de los participantes en el área de las bellas artes, ya que uno de los criterios de exclusión fue el de no ser profesionales en este ramo. Por último, se encontró que cuando las obras de arte eran presentadas una segunda ocasión se incrementaba la experiencia placentera, lo que es interpretado como una evidencia de que el agrado por la obra está dado en relación a la comprensión que se tiene de ella, lo cual aquí resulta de prolongar el tiempo en el que los individuos fueron expuestos a las obras de arte. En suma, podemos concluir dos cosas del estudio de Leder: 1) que las obras de que más difíciles de decodificar son aquellas que gustan más y 2) que el gusto derivado de la exposición de ellas tiene que ir acompañado por cierto grado de comprensión; por lo anterior podemos deducir que no es lo intrincado en una obra de arte la cualidad intrínseca que el aparato cognitivo humano procesa como recompensante, sino que dicha gratificación resulta, más bien, del éxito en la decodificación de la obra y todos los mecanismos cognitivos involucrados en tal empresa. Sin nada que decodificar – por ejemplo, en una obra de arte cuyo significado sea evidente a todas luces-, no hay tarea que llevar a cabo y, en consecuencia, no existe el estado anímico asociado a completarla con éxito.

Para concluir este aparatado, mencionaré de nuevo lo dicho por W. Wundt. refiriéndose a la complejidad en la obra de arte: *el placer estético resulta siempre que el estímulo sea “óptimamente complejo”*. Pero, ¿qué es *óptimamente complejo*? Berlyne sostuvo que las imágenes con complejidad intermedia, las cuales eran preferidas por las personas, eran aquellas con un alto nivel de incertidumbre – entendida como la alta variabilidad entre los elementos que las componían- y un bajo nivel en la redundancia (Berlyne, 1974a). Esto suena familiar al punto crítico mencionado en los apartados 2.3., por lo que posiblemente todos los autores mencionados estén hablando de lo mismo con distintos enfoques.

2.4.2. Caracterización de la complejidad en obras de arte

En el apartado anterior mencionamos la necesidad de la “complejidad óptima” para que tenga lugar el placer que resulta de la apreciación de la obra de arte. La pregunta obvia es: ¿Qué es y como puede ser medida dicha complejidad óptima?

2.4.2.1. Birkhoff Measure

Varios intentos por caracterizar la complejidad en el arte han sido realizados. Un ejemplo de ello es la “medida estética” propuesta por Garret Birkhoff (Birkhoff, 1933). En su libro, G. Birkhoff propone que la complejidad en las obras artísticas está en función del orden y la cantidad de elementos que se poseen. Para Birkhoff, dicha “medida estética” resulta de la siguiente ecuación:

$$\textit{Aesthetic Measure} = \textit{Order}/\textit{Complexity}$$

Aunque el método de Birkhoff es reconocido hoy en día como uno de los mejor estructurados para cuantificar la complejidad en obras de arte, existen también varias críticas al respecto de sus limitantes, dentro de las que destaca su complicada aplicación a pinturas con figuras no geoméricamente comunes.

2.4.2.2. La lucha entre dos fuerzas

“The puzzle of deterministic chaos is just one example from twentieth-century that shows how the limitations of human understanding make nature appear ‘noisy’, complicated and unpredictable.” (Crutchfield, 2003).

En el texto *What lies between order and chaos?* de Crutchfield, éste narra lo sucedido a Balthasar van der Pol en 1927. Van der Pol, al crear un amplificador que permitiera generar tonos musicales de las oscilaciones de una lámpara de neón, se percató de que al “sintonizar” el circuito de tal forma que se cambiara de un tono a otro, el dispositivo que empleaba emitía ruido, tal como si se sintonizara la radio. Lo que Van der Pol escuchaba en realidad era la dinámica de las distintas oscilaciones mecánicas que, aunque caóticas, cobraban sentido al ser moduladas.

Dicho en otras palabras, los tonos o armónicos puros surgían en un punto medio del espectro de las vibraciones generadas por la lámpara; un punto medio entre orden y desorden (Crutchfield, 2003).

El ejemplo dado por Crutchfield es solo un fenómeno de los tantos que evidencian los sustratos de la complejidad en la naturaleza, es decir, el “espacio de negociación” entre extremos de organización entre los elementos del sistema que se estudia; a saber, el tema que hemos tratado en los apartados 2.3.: la criticalidad. Regularmente, cuando un sistema se encuentra en un punto crítico, las magnitudes físicas que lo componen exhiben un comportamiento de ley de potencia, es decir, existe una relación escalar invariante entre ellos. Pero ¿qué es una relación escalar invariante? Imaginemos que tenemos un conjunto de personas cuyas edades son las siguientes: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128. La diferencia que existe entre cada una de las edades es del doble de su antecesor, es decir que entre cada una de estas magnitudes existe una relación constante, que no varía. Si graficáramos las magnitudes del ejemplo anterior en forma semi-logarítmica, encontraríamos una ley de potencia, tal como se muestra en la siguiente figura:

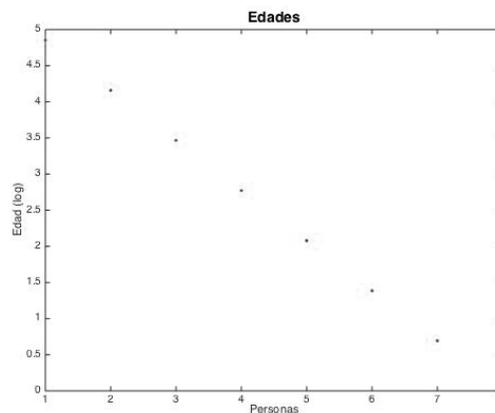


Figura 1 Aparición de una ley de potencia al graficar las edades de 8 personas, las cuales presentan una relación escalar invariante

Muchos sistemas que son irrefutablemente complejos, tales como el lenguaje, la transmisión genética, la vialidad en las ciudades, el crecimiento poblacional de ciertas regiones, etc., presentan dicho comportamiento. La ley de potencia y la relación escalar invariante entre todos

los elementos que componen al fenómeno estudiado son características de los sistemas complejos.

La comunicación multiescalar entre todos los bloques constitutivos del sistema (ej, los *spins* en el ferromagneto), es lo que permite que emerjan características que no existirían de no ser un sistema que se forma de manera auto-organizada. Como ha sido mencionado, el cerebro es un perfecto ejemplo de sistema complejo, constituido en bloques jerárquicos y con transmisión de información multiescalar, y de largo alcance. Así, el cerebro humano alcanza niveles de optimización comunicativa que lo dotan de las facultades necesarias para controlar el comportamiento – también multiescalar – del cuerpo y las partes del mismo.

2.4.2.3. Distribución Beta y caracterización en las Artes

Dentro del mundo de las artes, la caracterización de la complejidad en los términos previamente descritos ha sido estudiada desde 1949 por George K. Zipf, quien descubrió que en varias obras literarias la distribución en la frecuencia de distintas palabras a lo largo del texto mostraba un comportamiento de *ley de potencias* (Zipf, 1949). Esto se ha demostrado para novelas de suma importancia en la historia de la literatura, tales como *Moby-Dick* de Herman Melville y *Ulises* de James Joyce. ¿Estamos hablando entonces de obras complejas, cuyo punto de criticalidad ha sido alcanzado al mostrar que la estructura donde reside, distribuye sus elementos de forma semejante a un despliegue fractal? Varios estudios han revisado este tipo de distribuciones en fenómenos que son evidentemente complejos, tal como la distribución de la densidad poblacional en un país determinado o la magnitud de los terremotos en un periodo de tiempo específico (Newman, 2005).

La forma de caracterizar este tipo de complejidad fue sugerida en 1987 por Per Bak y cols., quienes apuntaban que la criticalidad de auto-organización (el punto medio del que hemos hablado) ocurre cuando la combinación entre la mínima estabilidad dinámica y el escalamiento espacial tiene lugar y esto conduce a una ley de potencia (Bak, Tang, & Wiesenfeld, 1987). No obstante, el ajuste a una ley de potencia con datos reales y rangos grandes sufre en muchas ocasiones una “ruptura” en las colas de la distribución. En 2009, Martínez-Mekler y cols.

propusieron una función en donde se incorpora el producto de dos leyes de potencia (Distribución Beta Discreta Generalizada) y encontraron que los datos reales de diferentes fenómenos naturales, al ser ordenados en una distribución de rango-orden, se ajustan con alta precisión. En el experimento se analizó la distribución de los codones en una secuencia de ADN de bacterias, así como el factor de impacto de ciertas revistas científicas y la densidad poblacional de ciudades españolas, en todas ellas encontrando un ajuste que superaba el 96%– un ajuste sumamente preciso-.

Además de lo anterior, ciertas obras de arte fueron también analizadas y la distribución de sus elementos fue ajustada a la función con incluso mayor exactitud (Martínez-Mekler et al., 2009). Sorprendentemente, la función propuesta por Martínez-Mekler se ajusta con 98.8% de precisión al analizar las notas que componen la Quinta Sinfonía de L. Van Beethoven, uno de los autores que fue mencionado en apartados anteriores cuya música logró incrementar los puntajes en la prueba *F&CPT*. Esta evaluación se aplicó también a otras obras musicales (*The Planets* de Holst y *Billion Dollar Babies* de Alice Cooper, fig. 3) y de arte visual (*Flora in the Sand* de Paul Klee y *Several Circles* de Kandinsky, fig.4).

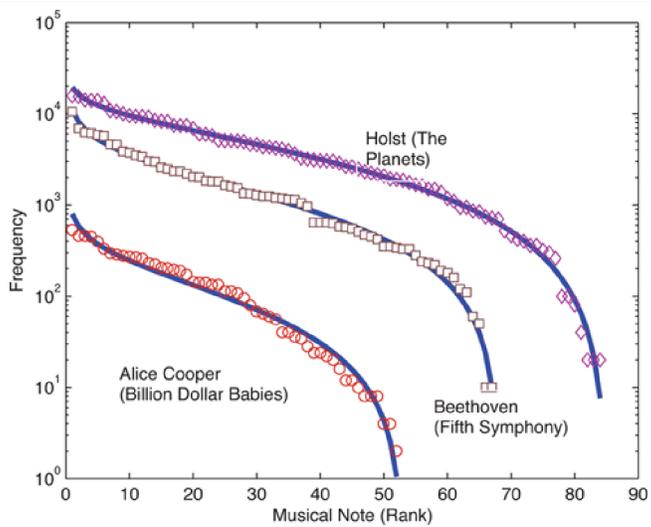


Figura 2 Distribuciones frecuencia-rango de la distribución de notas musicales en composiciones de Beethoven, Holts y Alice Cooper. La función se ajustó con precisión de 0.988, 0.987 y 0.978 respectivamente.

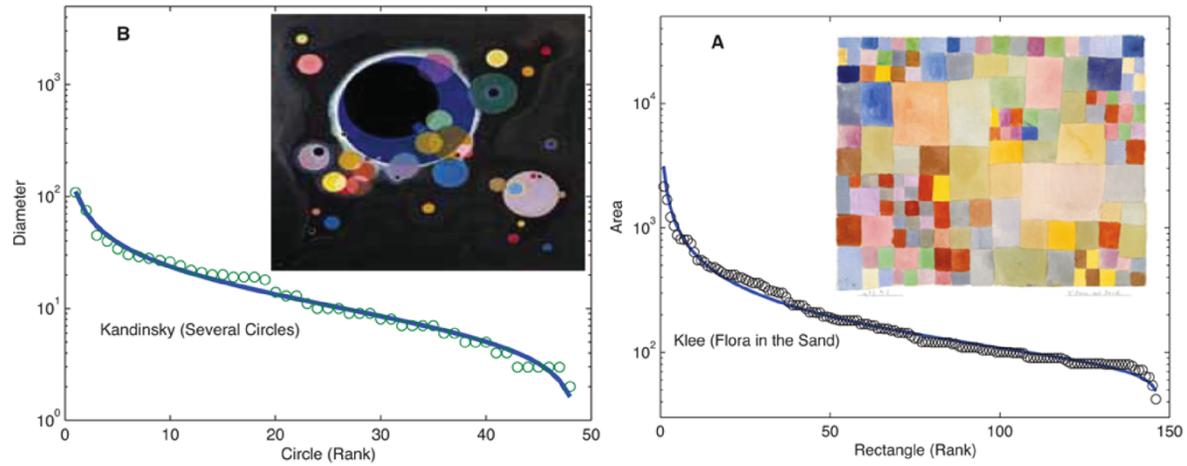


Figura 3 Distribución de área-orden en pinturas abstractas. Obras de Paul Klee y Kandinsky, ajustadas a la función con precisión de 0.999 y 0.978, respectivamente.

Uno de los puntos más importantes sobre la investigación de Martínez-Mekler es evidenciada en la función empleada:

$$f(r) = A(N + 1 - r)^b / r^a$$

en donde r = es el valor del rango

A = es una constante de normalización

N = es el valor máximo de la distribución

b y a = son exponentes de ajuste

El exponente de ajuste b controla la homogenización (orden) de la distribución y el a controla el desorden de la mismas. Como vimos anteriormente, esta variación entre orden y desorden es lo que genera la complejidad que deriva de estados críticos en la dinámica de los sistemas complejos. Por ello, la función beta propuesta por Martínez-Mekler pareciera ser un buen cuantificador complejo para varios fenómenos, dentro de ellos la música y las artes visuales.

3. JUSTIFICACIÓN

Lo expuesto en los apartados anteriores deja ver la necesidad y plausibilidad de tener herramientas que permitan la cuantificación de la complejidad, o al menos la caracterización precisa y replicable que permita un abordaje objetivo al estudio de esta nueva área: el análisis de la complejidad en las obras de arte y sus repercusiones en la apreciación estética.

Asimismo, se ha mencionado también que la evidencia que existe de que la música más compleja modula hacia la alza las habilidades viso-espaciales, podría conducir a una generalización tal que permita conjeturar que la exposición a artes plásticas pueden producir los mismos efectos. Con este respecto, dos puntos importantes deben ser considerados para que pueda ser posible esta caracterización de la complejidad en obras de arte plástico: 1) tal como la música cuenta con unidades bien definidas que permiten la estadística necesaria para ajustar los parámetros mencionados en el apartado 2.4.2.2, debemos encontrar una unidad equivalente para las pinturas. 2) Puesto que el Efecto Mozart, mencionado a lo largo de todo este texto, denota *cross-modality* es de suponer que un tipo de estimulación distinta a la acústica – la visual, por ejemplo – podría generar efectos similares.

En el presente trabajo se presenta una posible solución a dicho problema, a saber, la caracterización de la complejidad en obras de arte visual (pinturas) partiendo del marco teórico de los Sistemas Complejos. Para ello, y tomando como punto de partida el trabajo llevado a cabo por Martinez-Mekler previamente descrito, consideramos a las pinturas como un conjunto de áreas polimorfos, circunscritas cromáticamente; es decir, que cada área que compone a la pintura encuentra su límite en el momento en el que un color distinto al propio aparece. Dado lo anterior, el componente elemental supondría ser cada una de esas áreas y – bajo el entendido de que para fines prácticos todas las imágenes con las que se trabajará serán digitalizadas – la magnitud de cada una será la cantidad de píxeles con que estén compuestas.

Por otro lado, puesto que los criterios para determinar las partes elementales de las imágenes serán basados puramente en el color, se considera importante evaluar si las propiedades en la dimensión cromática son también relevantes en la percepción y elaboración de juicios estéticos,

tal como ha sido propuesto en distintos trabajos realizados en los últimos años (Berman, Hout, Kardan, & Hunter, 2014; Braun, Amirshahi, Denzler, & Redies, 2013).

Por tanto, se tomó la determinación de dividir el presente estudio en dos partes. La primera es una propuesta para la caracterización física de imágenes digitales, la cual podría aplicarse en el futuro a imágenes de pinturas digitalizadas. Aquí, y con el fin de tener un mayor control, se decidió generar imágenes propias por medio de un algoritmo estocástico, cuyos detalles serán expuestos en el siguiente apartado. La segunda parte del presente estudio consistirá en la modulación las propiedades cromáticas de pinturas digitalizadas, tomando como campo de acción el espacio de color no lineal conocido como HSV por sus siglas en inglés (*Hue*, *Saturation* y *Value*, respectivamente), el cual ha sido utilizado en estudios previos para evaluar las propiedades cromáticas de paisajes, fotografías y pinturas (Berman et al., 2014).

4. OBJETIVOS

Los objetivos principales del presente estudio pueden dividirse en dos:

- 1) El primero es verificar si por medio de un modelo estocástico de replicación pixelar (apartado 6.1), es posible generar imágenes con distintos gradientes de complejidad, al ser caracterizada por un ajuste a la Distribución Beta Discreta Generalizada (véase el apartado 2.4.2.3.).
- 2) El segundo objetivo es verificar si las propiedades cromáticas de las obras plásticas tienen alguna influencia en la percepción estética.

5. HIPÓTESIS

La hipótesis general del presente trabajo es: **La configuración y distribución de los elementos (las áreas) en las obras de arte son determinantes para la percepción estética.** Las hipótesis específicas que surgen de ello son:

Hipótesis 1. Un modelo estocástico para la generación de imágenes, susceptible de ser variado en un rango de orden y desorden (apartado 6.1), hará posible la modulación de la

complejidad en dichas imágenes tomando en cuenta la frecuencia de las áreas que las componen e implementando un ajuste de Distribución Beta Discreta Generalizada a su distribución.

Hipótesis 2. El grado de complejidad de una imagen influencia en mayor grado la percepción estética que la configuración cromática, por lo que la modulación en dicha dimensión no generará efectos en la apreciación estética.

6. MÉTODO

Con el fin de controlar la diversidad de magnitudes (cantidad de píxeles) propias de cada área, se optó por generar imágenes con un modelo de replicación de píxeles bajo reglas estocásticas.

6.1. Modelo propuesto para generación de imágenes complejas

El modelo de generación de imágenes que se decidió utilizar tenía como objetivo modular los tamaños de las áreas que compondrían a las imágenes digitalizadas para así poder acercarnos a un punto de “equilibrio” en donde la relación escalar entre la frecuencia de los distintos tipos de áreas sea invariable, tal como es mencionado en el apartado 2.4.2.3. Así, el algoritmo que posteriormente se implementó en un programa con lenguaje de programación Fortran 90 constó de los siguientes pasos:

- 1) La generación de una secuencia de números aleatorios de dimensión 1024 elegidos dentro 3 opciones (50, 170, 215)⁶, los cuales servirían como ensayos *transientes* para asegurar que las condiciones iniciales de la generación de cada imagen no tuviera influencia.
- 2) Después de que dicha serie era creada, se generaba una matriz de números de dimensión 1024 x 1024, eligiendo cada número con tres distintas probabilidades: a)

⁶ Los número elegidos corresponden a un punto dentro del espacio de color RGB. Ellos fueron elegidos para corresponder con 3 colores que aseguran una percepción optima de contraste (Gramazio, Laidlaw, & Schloss, 2017).

repetir el número de la izquierda (p_1), b) repetir el número próximo superior (p_2) y c) elegir aleatoriamente una de las tres opciones de números (q); tal que $p_1+p_2+q=1$.

- 3) Las probabilidades p_1 , p_2 y q fueron moduladas de tal forma que las áreas que componían a las imágenes iban de más pequeñas – cuando q se acercaba a 1 – a más grandes – cuando la suma de $p_1 + p_2$ ⁷ se acercaba a 1-.
- 4) Los números en las matrices fueron transformados en colores con el programa Gnuplot, de tal modo que el resultado era una imagen cuadrada, como se muestra en el Anexo 9.2.

6.1.1. Caracterización de la relación escalar invariante entre áreas

Una vez generadas las imágenes, se evaluó si la distribución de las frecuencias – la cantidad de veces que se repetían áreas con la misma dimensión en píxeles – ajustaba con la Distribución Beta Discreta Generalizada propuesta por Martinez-Mekler et al (2009).

Para ello, las áreas fueron delimitadas, cuantificadas y clasificadas por dimensión con ayuda de un código programado en lenguaje computacional *Python*. Posteriormente, las clasificaciones fueron ordenadas por rango – de mayor a menor frecuencia – y ajustadas a una función de Distribución Beta Discreta Generalizada.

Con el fin de variar el tamaño, frecuencia y configuración de las áreas, se buscó escudriñar las bastas posibilidades que suponía la modulación de p_1 , p_2 y q ⁸. Para ello, fueron generadas 100 matrices para cada uno de los siguientes casos, en dos tipos de exploración (una gruesa y otra fina) en donde los valores de p_1 y p_2 fueron idénticos en cada paso:

⁷ Cabe mencionar que, dado el paso 2 del algoritmo, p_1 cercano a 1 generaba áreas horizontales, mientras que cuando p_2 era cercano a 1 se generaban áreas verticales.

⁸ La suma de p_1+p_2+q será siempre igual a 1.

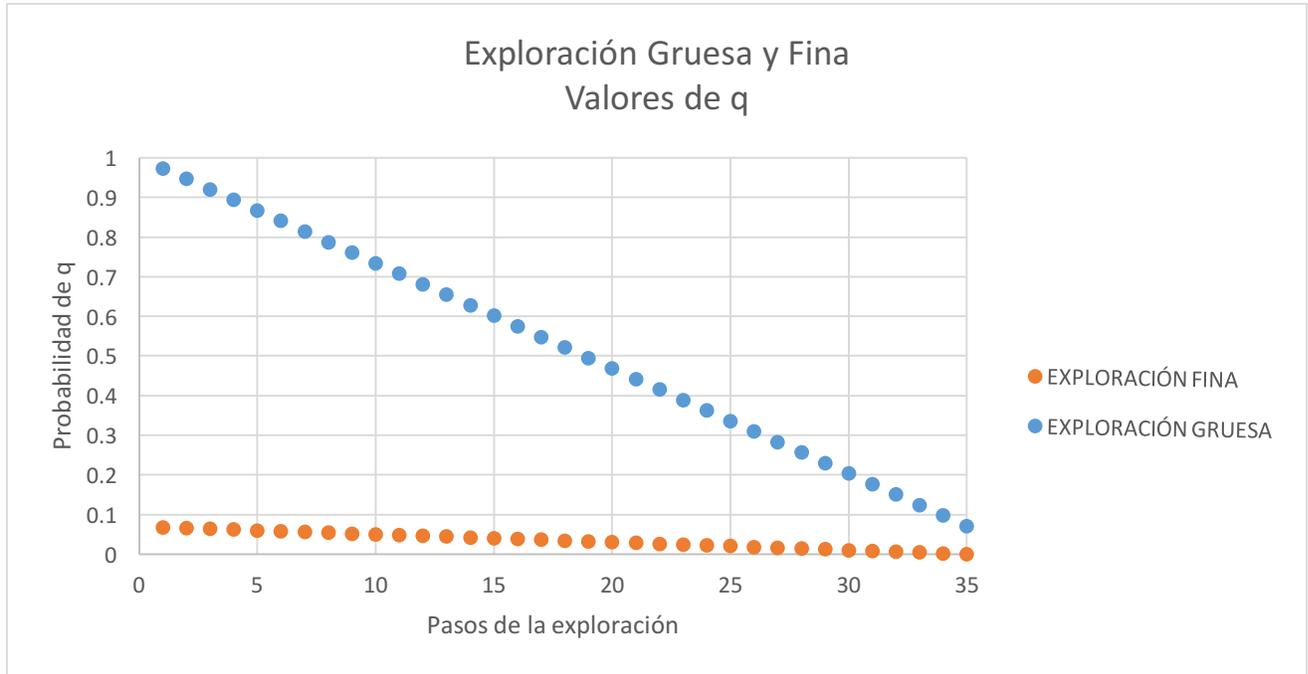


Figura 4. Los puntos muestran 35 variaciones al modelo de generación de imágenes. El primer acercamiento fue denominado **exploración gruesa**, ya que permitió explorar el rango de posibilidades por completo: $p1+p2= \sim 0 - 0.930$. Los puntos naranjas muestran la exploración denominada **fina**, la cual permitió evaluar la configuración en un rango mucho más pequeño: $p1+p2= 0.932 - 1$.

Después de una exploración piloto, fue decidido analizar estadísticamente estas 70 configuraciones de la suma $p1+p2+q$. La decisión fue basada en dos argumentos: 1) estas 70 posibilidades del modelo permiten explorar muestras de todo el rango posible y 2) las imágenes muestran evidentemente áreas de color pequeñas y grandes en las *exploración fina* (lo que es un indicio de relación multiescalar invariante; apartado 2.4.2.3). Una muestra de cada configuración es mostrada en el Anexo 9.2.

Por último, la exploración piloto sugirió la posibilidad de encontrar mejores ajustes con las configuración $p2= 0.1$ y la variación de $p1$ en el rango 0.8990 a 0.8999. Dicha exploración fue denominada “Alternativa” y pueden observarse los 10 pasos más relevantes de ella a continuación:

EXPLORACIÓN ALTERNATIVA		
p1	p2	q
0.899	0.1	0.001
0.8991	0.1	0.0009
0.8992	0.1	0.0008
0.8993	0.1	0.0007
0.8994	0.1	0.0006
0.8995	0.1	0.0005
0.8996	0.1	0.0004
0.8997	0.1	0.0003
0.8998	0.1	0.0002
0.8999	0.1	0.0001

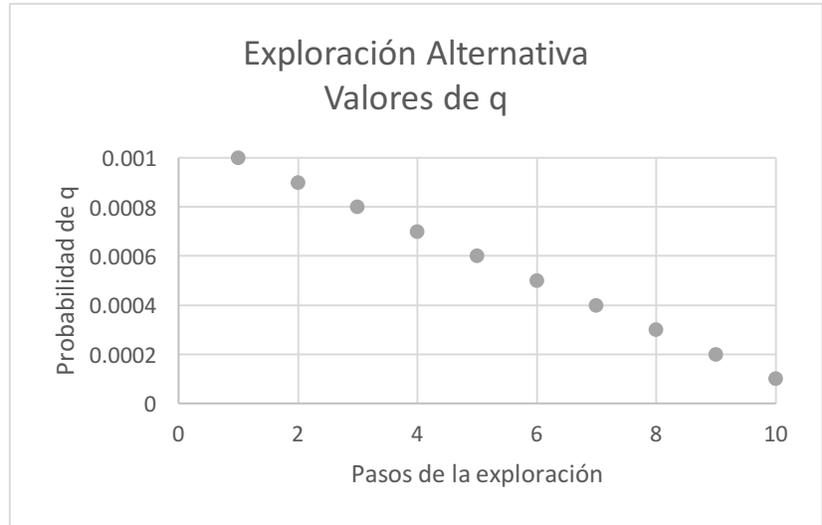


Tabla 1 La tabla muestra la exploración denominada **alternativa**, para la cual la probabilidad p2 permaneció fija a lo largo de la exploración (0.1); p1, por otro lado, fue modulada en el rango de 0.8990 a 0.8999.

6.1.2. Software empleado para la generación de imágenes

- IBM Mathematical Formula Translating System, FORTRAN 90.
- Mathematical Software Gnuplot 5.0.
- Python Software Foundation, PYTHON 2.7.3.
- Mathworks Matrix Laboratory, MATLAB R2014b.

6.2. Experimento comportamental

Con el objeto de verificar si las propiedades cromáticas están teniendo repercusión en la percepción estética y no es simplemente la configuración de las áreas que componen las imágenes, se hizo una modulación de los valores vectoriales del espacio de color HSV para imágenes digitales de pinturas de Pollock y Mondrian, cuyos originales fueron previamente evaluados por el Centro de Neurociencia Cognitiva en la Universidad de Pensilvania.

Las imágenes fueron digitalizadas y transformadas en matrices, donde cada pixel se transformó en un vector tridimensional (correspondiente para valores de HSV: Matiz, Saturación y Valor).⁹

Para cada imagen se realizaron 3 variaciones de la misma. En cada una de ella, los valores de uno de los tres componentes vectoriales del espacio HSV permanecieron idénticos, mientras que los dos restantes fueron reemplazados por números aleatorios, de tal modo que las modificaciones fueron como sigue (ejemplos se agregan en el Anexo 9.3):

- 1) Valores de “Matiz” conservados, mientras los valores de “Saturación” y “Valor” fueron aleatorizados.
- 2) Valores de “Saturación” conservados, mientras los valores de “Matiz” y “Valor” fueron aleatorizados.
- 3) Valores de “Valor” conservados, mientras los valores de “Matiz” y “Saturación” fueron aleatorizados.

6.2.1. Reactivos en la evaluación de juicios estéticos

Dado que los participantes fueron todos angloparlantes nativos, las preguntas hechas para evaluar juicios subjetivos estuvieron formuladas en inglés. Previo a la presentación de las imágenes a evaluar, fue presentado el siguiente texto informativo, con el fin de tener definiciones operacionales bien establecidas y evitar así sesgos de cualquier tipo:

1. Motion
Rate the image in terms of how much motion or movement you see, or feel is implied, by the image.
1 = no motion, 7 = a lot of motion
2. Familiarity
Rate the image in terms of how familiar the image is to you. Do you recognize the image, as though you might have seen it before, or is it completely unfamiliar to you?
1 = unfamiliar, 7 = very familiar
3. Beauty
Rate the image in terms of how beautiful you find it.
1 = very ugly, 7 = very beautiful
4. Interestingness

⁹ El espacio de color HSV es un modelo ortogonal de 3 dimensiones, en donde *Hue* o Matiz determina el color puro en un rango circular, *Saturation* o Saturación define el grado de opacidad y *Value* o Valor responde al grado de brillantez.

Rate the image in terms of how interesting you find it.
1 = very boring, 7 = very interesting
5. Liking
Rate the image in terms of how much you like it. Liking is not the same as beauty. You may like an image even if you do not find it particularly beautiful.
1 = do not like at all, 7 = like very much
6. Complexity
Rate the image in terms of how simple or complex you find it.
1 = very simple, 7 = very complex
7. Balance
Rate the image in terms of its balance. Think about how the parts of the picture are arranged. Balance refers to a feeling of equality in weight, attention, or attraction of the various visual elements of the image.
1 = very unbalanced, 7 = very balanced
8. Color temperature
Rate the temperature of the predominant colors in the image. Blue is a cool color. Red is a warm color.
1 = cool colors, 7 = warm colors
9. Color saturation
Rate how saturated the colors are in the image. Calm colors are pale and light. Vibrant colors are vivid, bright, and bold.
1 = calm colors, 7 = vibrant colors
Please wait for the study to load. The continue button will automatically appear in the lower right corner of this page when complete.

Tabla 2 Se muestran las definiciones operacionales expuestas a los participantes previo a la evaluación hecha de las imágenes presentadas en el presente estudio.

Después de esto, debajo de cada imagen fueron presentados 9 reactivos tipo escala Likert, donde las personas podrían marcar del 1 al 7 la magnitud con la que percibían tal cualidad en la imagen mostrada. Los reactivos se presentaron de la siguiente forma:

	1	2	3	4	5	6	7	
No motion	<input type="radio"/>	A lot of motion						
Unfamiliar	<input type="radio"/>	Very familiar						
Very ugly	<input type="radio"/>	Very beautiful						
Very boring	<input type="radio"/>	Very interesting						
Do not like at all	<input type="radio"/>	Like very much						
Very simple	<input type="radio"/>	Very complex						
Very unbalanced	<input type="radio"/>	Very balanced						
Cool color	<input type="radio"/>	Warm color						
Calm color	<input type="radio"/>	Vibrant color						

Figura 5. Muestra el espacio donde los participantes emitían sus respuestas con base en la percepción producida por cada una de las imágenes mostradas.

6.2.2. Participantes

200 ciudadanos americanos de entre 18 y 65 años evaluaron 100 imágenes (correspondientes a las pinturas originales y las imágenes modificadas). Las personas fueron reclutadas desde la plataforma para búsqueda de participantes para experimentos científicos *M-Turk Amazon*, sitio web que proveía de acceso a la presentación de imágenes, las cuales se montaron con el programa on-line *UPenn Qualdrics Survey*. Los participantes fueron recompensados con \$8.00 dólares americanos siempre y cuando terminaran la evaluación.

6.2.3. Procedimiento

Los participantes fueron invitados a participar al estudio elegidos de forma aleatoria de una base de datos perteneciente a *M-Turk Amazon*. Los participantes respondieron las preguntas desde sus computadoras personales y sin restricción de tiempo. No obstante, ninguna tardó más de 120 minutos.

Antes de comenzar con la evaluación de las imágenes, a los sujetos les fue solicitado su número de participante, una matrícula de identificación con la cual *M-Turk Amazon* ha almacenado los

datos sociodemográficos de cada persona en su base de datos. Después, fueron presentadas las definiciones operacionales previamente presentadas en el apartado 6.2.1.

Para el paso siguiente, a saber, la presentación de imágenes, los participantes fueron divididos en 4 grupos de 50 personas cada uno: a quienes les presentaron 1) las pinturas originales, 2) imágenes del grupo “Matiz”, 3) imágenes del grupo “Saturación” y 4) imágenes del grupo “Valor” (ver el apartado 4.2.). Cada una de las 100 imágenes presentadas fue acompañada debajo por un cuadro de respuesta (figura 5), en donde se podía responder en una escala Likert del 1 al 7:

1. Qué tan móvil parecía la imagen.
2. Qué tan familiar resultaba.
3. Qué tan bella.
4. Qué tan interesante.
5. Cuánto gustaba.
6. Qué tan compleja.
7. Qué balanceada parecía
8. Qué tan cálida.
9. Qué tan llena de energía.

El orden de aparición de las imágenes fue aleatoria.

6.3. Análisis estadístico

Se realizaron 2 tipos de análisis estadístico en el presente trabajo. El primero, para el ajuste de las curvas teóricas y empíricas de las Distribuciones Beta Discreta Generalizada. Para este, una regresión lineal múltiple log-log (Martínez-Mekler et al., 2009), idéntica a la utilizada por el grupo de Martínez-Mekler en el 2009 fue utilizada.

El segundo análisis, aplicado para la comparación entre los grupos control (las pinturas originales) y experimentales del experimento comportamental, consistió en una regresión lineal simple entre cada par de grupos (*Pinturas originales vs Matiz, Saturación o Valor*). Una prueba *t-student* indicaba si los valores podían ser considerados como pertenecientes al mismo grupo ($p \leq 0.05$).

7. RESULTADOS

Los primeros resultados muestran que el modelo propuesto es susceptible de mejora, ya que el análisis cualitativo del ajuste a la Distribución Beta Discreta Generalizada no satisface completamente el traslape de la curva teórica. Los resultados del experimento comportamental indican que la dimensión cromática de las obras de arte (por lo menos en las pinturas de arte moderno) tiene influencia determinante en el juicio subjetivo que las personas emiten sobre sus atributos estéticos.

7.1. Ajuste a la Distribución Beta Discreta Generalizada

A continuación se muestran los puntajes de correlación (R^2) obtenidos del ajuste para cada uno de los pasos de la exploración gruesa del modelo:



Figura 6 Se muestran los valores R^2 de la Regresión Lineal aplicada entre los valores teóricos y empíricos de las distintas modulaciones de la exploración gruesa

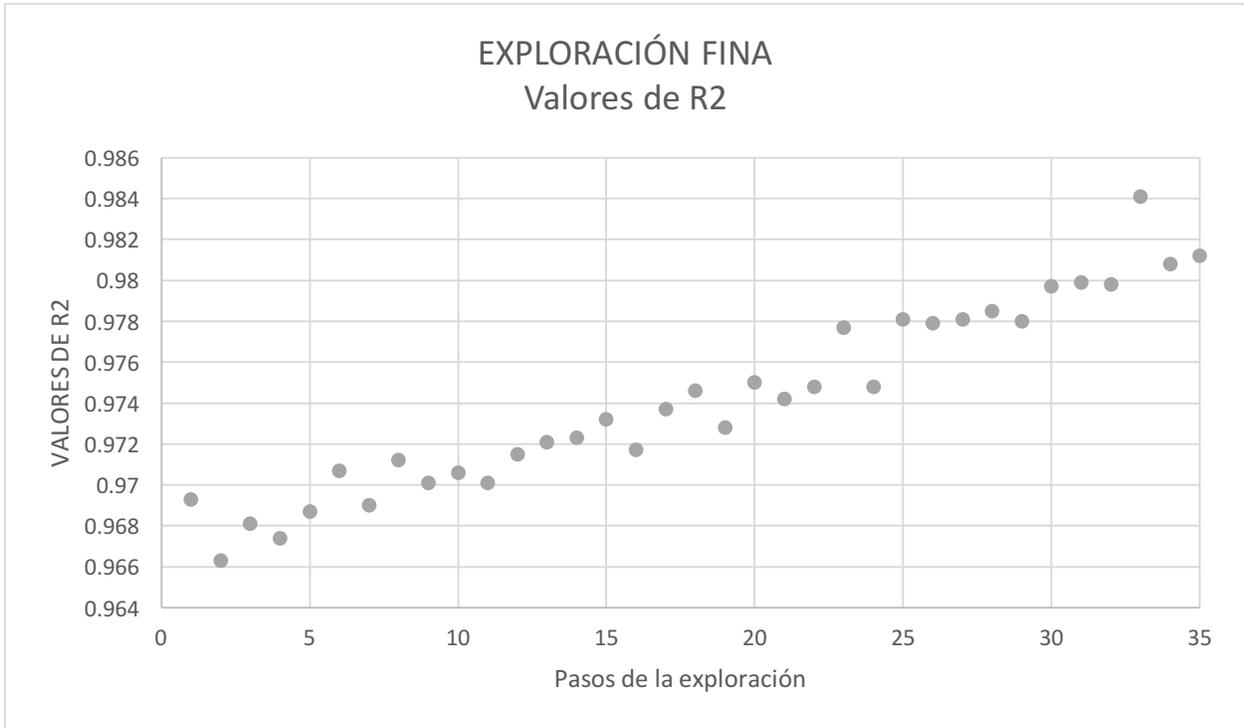


Figura 7 Se muestran los valores R^2 de la Regresión Lineal aplicada entre los valores teóricos y empíricos de las distintas modulaciones de la exploración fina

En seguida se muestran las gráficas correspondientes a los valores mencionados en las tablas anteriores:

EJEMPLOS DE EXPLORACIÓN GRUESA

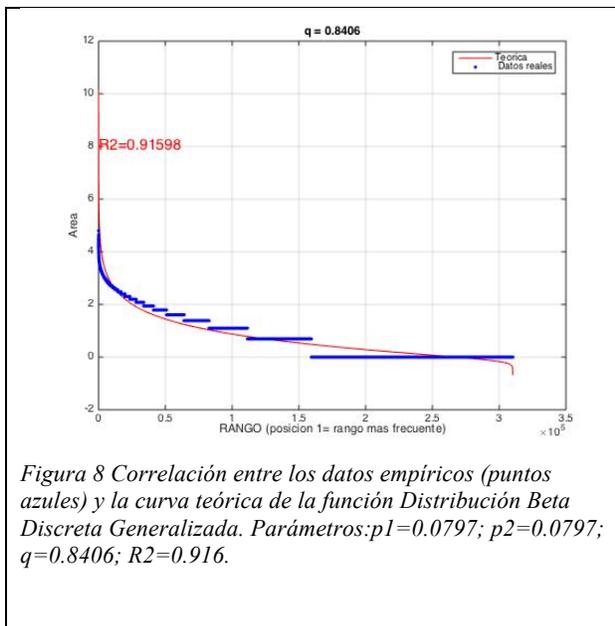


Figura 8 Correlación entre los datos empíricos (puntos azules) y la curva teórica de la función Distribución Beta Discreta Generalizada. Parámetros: $p_1=0.0797$; $p_2=0.0797$; $q=0.8406$; $R^2=0.916$.

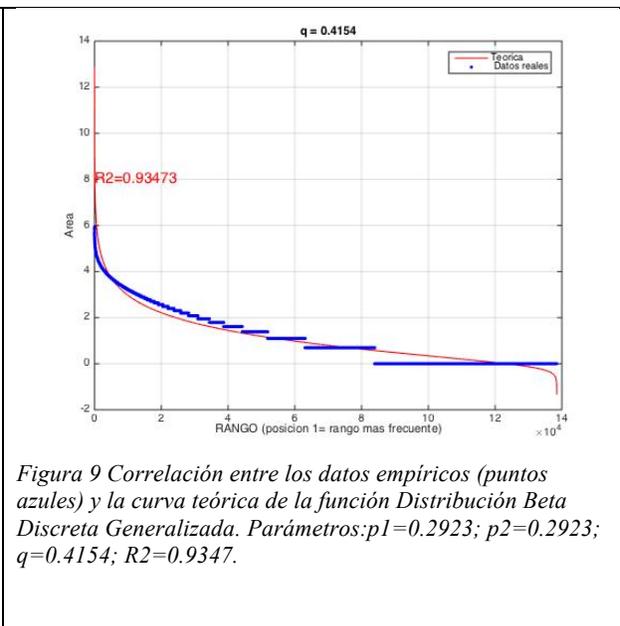
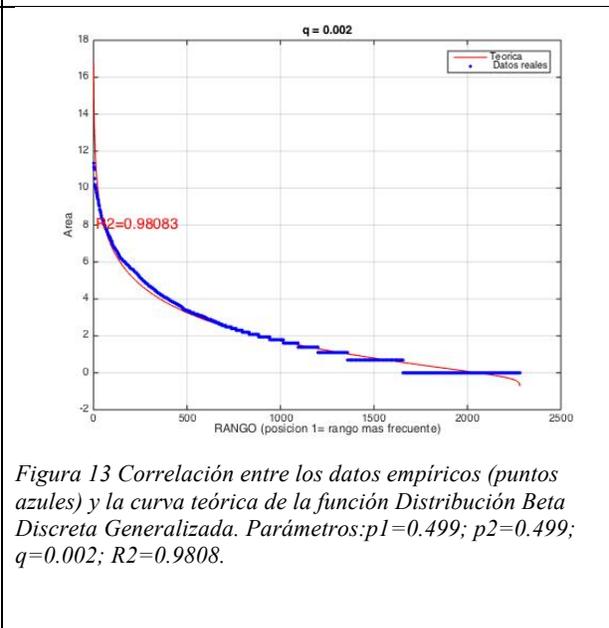
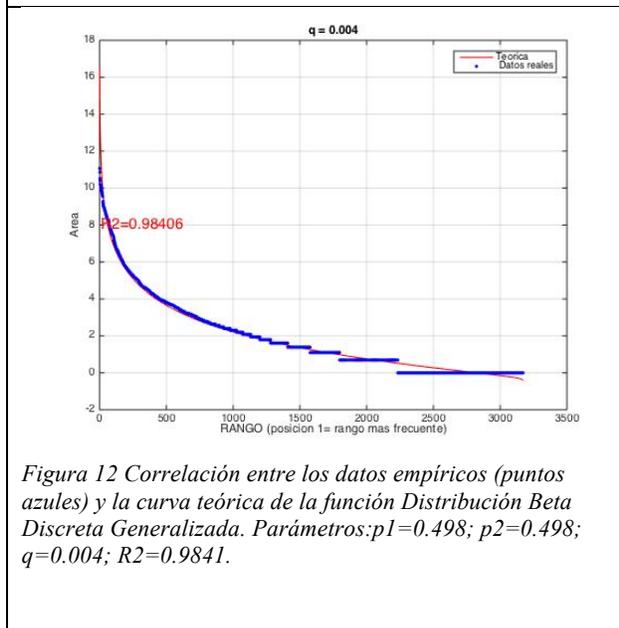
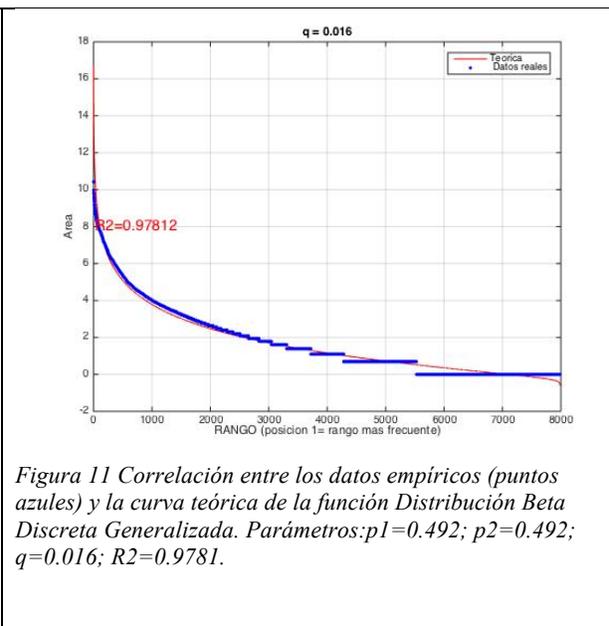
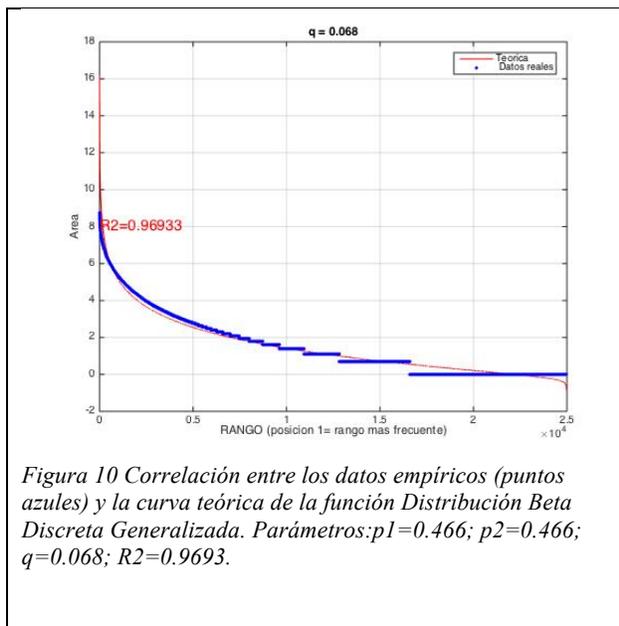


Figura 9 Correlación entre los datos empíricos (puntos azules) y la curva teórica de la función Distribución Beta Discreta Generalizada. Parámetros: $p_1=0.2923$; $p_2=0.2923$; $q=0.4154$; $R^2=0.9347$.

EJEMPLOS DE EXPLORACIÓN FINA



A continuación se muestra la tabla con los valores R^2 correspondientes a la exploración Alternativa del modelo:

EXPLORACIÓN ALTERNATIVA			
p1	p2	q	R ²
0.899	0.1	0.001	0.9611
0.8991	0.1	0.0009	0.9651
0.8992	0.1	0.0008	0.9695
0.8993	0.1	0.0007	0.9563
0.8994	0.1	0.0006	0.9594
0.8995	0.1	0.0005	0.9515
0.8996	0.1	0.0004	0.9503
0.8997	0.1	0.0003	0.9125
0.8998	0.1	0.0002	0.9329
0.8999	0.1	0.0001	0.9136

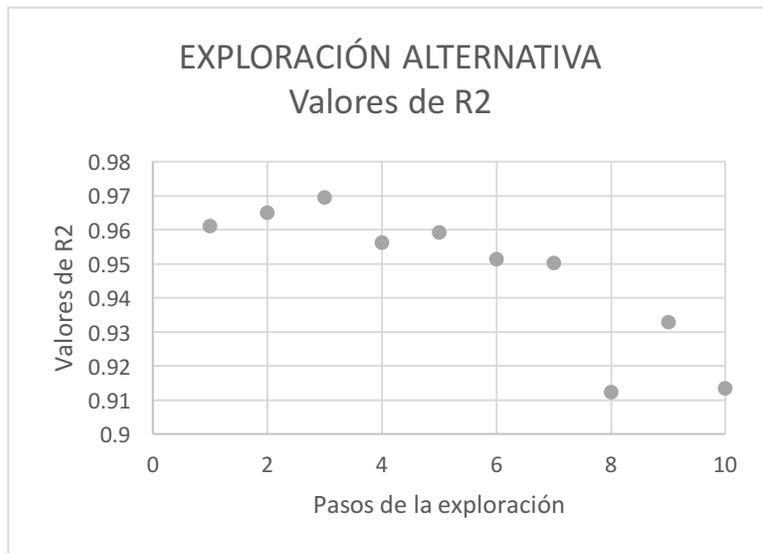


Tabla 3 Muestra los valores R² de los pasos en la exploración aleatoria

Las siguientes son las gráficas correspondientes a los valores previamente expuestos:

EJEMPLOS DE LA EXPLORACIÓN ALTERNATIVA

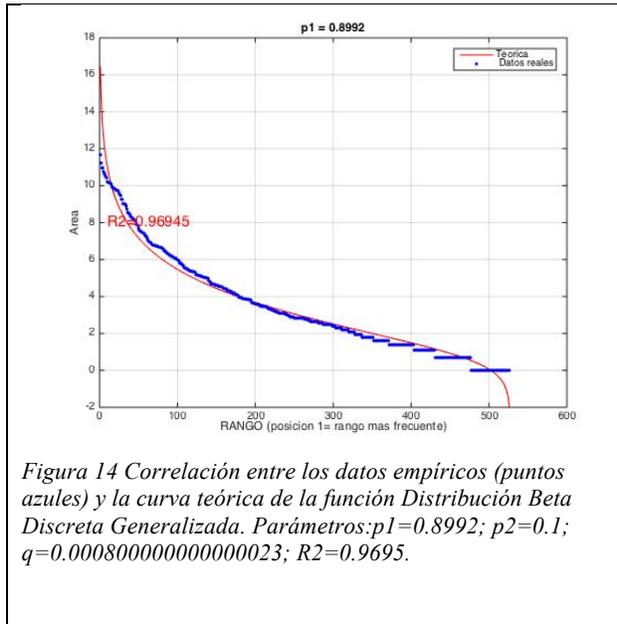


Figura 14 Correlación entre los datos empíricos (puntos azules) y la curva teórica de la función Distribución Beta Discreta Generalizada. Parámetros: $p1=0.8992$; $p2=0.1$; $q=0.0008000000000000023$; $R2=0.9695$.

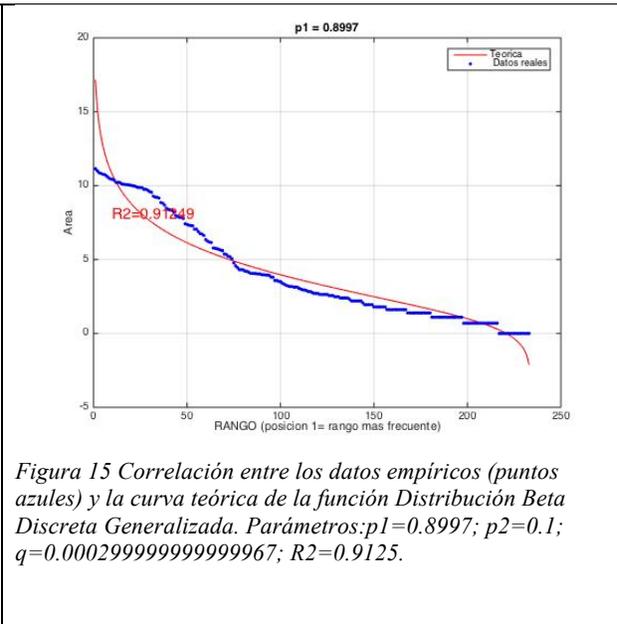


Figura 15 Correlación entre los datos empíricos (puntos azules) y la curva teórica de la función Distribución Beta Discreta Generalizada. Parámetros: $p1=0.8997$; $p2=0.1$; $q=0.0002999999999999967$; $R2=0.9125$.

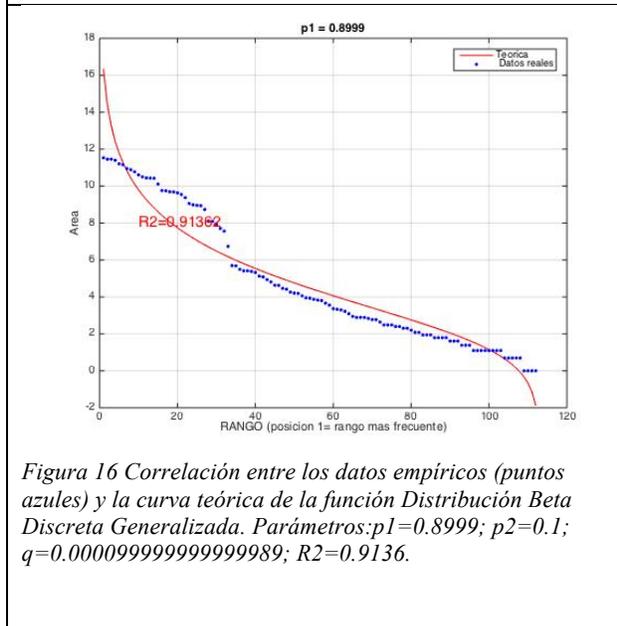


Figura 16 Correlación entre los datos empíricos (puntos azules) y la curva teórica de la función Distribución Beta Discreta Generalizada. Parámetros: $p1=0.8999$; $p2=0.1$; $q=0.0000999999999999989$; $R2=0.9136$.

7.2. Resultados del experimento comportamental de modulación de la dimensión cromática en pinturas del periodo moderno en la historia del arte

A continuación se muestra la tabla que resume los resultados de las correlaciones hechas entre los juicios reportados frente a las pinturas originales (Pollocks y Mondrianes) y aquellos frente a la presentación de las imágenes modificadas en el espacio de color HSV:

CORRELACIÓN ENTRE PINTURAS Y MODIFICACIONES HECHAS EN EL ESPACIO DE COLOR HSV			
Imágenes modificadas	Hue	Saturation	Value
Pinturas originales			
Motion	0.7293*	0.3633	0.9477*
Familiarity	0.1608	0.1403	0.6297*
Beauty	0.01288	0.007627	0.4754
Interestingness	0.255	0.1931	0.8067*
Liking	0.01253	0.1301	0.5701*
Complexity	0.5704	0.1867	0.9271*
Balance	0.4171	0.2728	0.5602*
Color temperature	0.09504	0.4409	0.04283
Color saturation	0.2639	0.5205	0.03529

Tabla 4 Muestra los valores de R^2 resultantes de la regresión lineal hecha entre la evaluación hecha de las pinturas originales y sus modificaciones en el espacio de color HSV. * Significacia estadística.

8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo se planteó la posibilidad de que las propiedades físicas de las imágenes fueran caracterizadas con el fin de que su modulación precisa fuera posible y, de este modo, observar si los juicios estéticos (y algunos de otro tipo) pudieran ser modulados en correspondencia. Lo anterior indicaría que las obras de arte –pinturas de la etapa moderna del arte, por lo menos – están ejerciendo su efecto anímico-cognitivo en nosotros, los seres humanos, a través de un lenguaje abstracto, dependiente de la específica configuración de los elementos que las constituyen, pero independiente de las formas relativas a objetos.

Las conclusiones generales que pueden extraerse de los resultados aquí mostrados son principalmente dos:

- 1) La primera es que el modelo estocástico de generación de imágenes complejas aquí propuesto es insuficiente (por lo menos con ensambles de 1024x 1024 píxeles cada imagen) para la clara identificación de una configuración compleja, concebida ésta bajo el marco de los Sistemas Complejos (apartado 2.4.2.3.). El motivo, el cual será detallado en el siguiente apartado, es que la curva que conforman los datos empíricos, cuando son organizados en una distribución *rango-orden* (rango= de mayor a menor en términos de frecuencia y orden= magnitud del área), coinciden solo de forma parcial con los datos teóricos generados por la Distribución Beta Discreta Generalizada.
- 2) La segunda es que, a diferencia de lo que se supuso en el apartado 5., en la hipótesis 2, la dimensión cromática juega un papel determinante en la generación de juicios estéticos y no estéticos resultantes de la presentación de pinturas del periodo moderno en la historia del arte. Lo anterior se concluye ya que, como puede verse en la tabla 6, la modificación denominada *Valor* (en donde, recordemos: se aleatorizaron los valores correspondientes a *Matiz* y *Saturación*; apartado 6.2.) desprende imágenes cuya percepción correlaciona con valores muy cercanos a 1 con aquella proveniente de la presentación de las pinturas originales.

8.1. Conclusiones específicas de la exploración del modelo estocástico para generación de imágenes complejas

Como se ha mencionado, el modelo propuesto fue agotado en su primera exploración, la cual consistió en la modulación de las probabilidades p_1 , p_2 y q (ver apartado 6.1.). Después de una exploración piloto, se decidió generar 100 muestras para 85 distintas configuraciones de dicho modelo. Estas configuraciones fueron divididas en 3 grupos: 1) Exploración Gruesa – la cual buscó mostrar una panorámica del rango de posibilidades -, 2) Exploración Fina – la cual buscó escudriñar un rango en el que se sospechaba podría encontrarse una relación multiescalar

invariante con respecto a la frecuencia de las áreas que conforman la imagen – y 3) Exploración Alternativa – la cual fue elegida ya que, en el pilotaje, las curvas empíricas parecían tener una morfología más parecida a las curvas teóricas- .

A pesar de lo supuesto, ninguna de las curvas extraídas de los grupos recién mencionados logró un traslape significativo, a pesar de que los valores R^2 de la regresión lineal aplicada lograron puntajes altos (Figuras 73, 74 y 75), parecidos a los reportados por Martínez-Mekler en 2009 (Martínez-Mekler et al., 2009). En estas tres gráficas mencionadas, logra verse un traslape importante de puntos empíricos y teóricos, sin embargo, es al final de la curva donde los datos empíricos toman un rumbo completamente distinto a los teóricos. Por lo anterior, fue elegida la exploración alternativa. Nótese en la figura 82 que esta disociación mencionada es disipada, aunque no lo suficiente para considerarla como un ajuste tan bueno como el reportado por Martínez-Mekler en la figura 3.

Por otro lado, las dimensiones elegidas de pixelaje para las imágenes (1024x1024) incrementan la probabilidad de que muchas áreas pequeñas aparezcan, las que muy probablemente estarían produciendo el efecto de la disparidad entre datos teóricos y empíricos en las colas de las curvas. Un modelo que contemple esto podría, en lo sucesivo, ser explorado para verificar una posible mejora en el ajuste.

El modelo aquí planteado resultó atractivo en un inicio por su simplicidad, no obstante vemos que es susceptible de mejora no solamente por lo aquí expuesto en su exploración, sino porque resulta inviable su traducción para análisis de pinturas reales.

Por supuesto, el paso lógico que siguiera a la caracterización de la relación multiescalar invariable (complejidad) en las imágenes generadas por computadora, sería su evaluación en la percepción estética de dichas imágenes. En un principio, esa fue la idea con la que nos aventuramos en la exploración de los modelos aquí ya expuestos. Al no resultar lo que esperábamos, este paso lógico no pudo llevarse a cabo, sin embargo, encontramos de suma importancia que, una vez teniendo el modelo adecuado, se ponga en implementación. Los datos

obtenidos de esta evaluación, aportarán información valiosa a la reciente disciplina: estética empírica.

8.2. Conclusiones específicas del experimento comportamental de evaluación de la dimensión cromática en pinturas de arte moderno y su efecto en la percepción estética

Uno de los resultados más sorprendentes de esta investigación fue descartar la hipótesis 2, la cual suponía que la dimensión cromática (dado que es asociada muy vagamente a la complejidad en la literatura) no tiene mayor efecto en los juicios estéticos que las personas emiten al observar obras de arte.

Recordemos que las modificaciones fueron hechas en 3 grupos: *Matiz (Hue)*, *Saturación (Saturation)* y *Valor (Value)*. Así, el grupo *Matiz*, por ejemplo, constó de imágenes que mantuvieron los valores originales del elemento *Hue* en espacio de color vectorial (3 dimensional) de HSV, mientras que los valores de *Saturation* y *Value* fueron aleatorizados (Véase apartado 6.2.).

Los puntos a recalcar son tres principales, de los que se desprenden conjeturas interesantes:

1) Los resultados indicaron que la percepción de los atributos *Motion*, *Familiarity*, *Interestingness*, *Liking*, *Complexity* y *Balance* es muy similar tanto para las pinturas originales, como para las imágenes del grupo *Valor*. Lo anterior es evidenciado ya que las correlaciones son por encima de 0.5 (Tabla 5) y las valores *p* son menores a 0.05. Las correlaciones que existen en los atributos *Motion*, *Interestingness* y *Complexity* son extraordinariamente altos y, por supuesto, correlacionan significativamente (Tabla 4).

2) De forma interesante, las correlaciones entre los grupos *Pinturas originales* y *Modulación en Matiz* sobrepasan también el 0.5 para los atributos *Complexity* y *Motion* (Tabla 4).

3) El tercer dato interesante que se puede apreciar en estos resultados, es que el atributo *Beauty* no es percibido con ningún grado de similitud para cualquier grupo experimental comparado con el control.

En general, los resultados muestran que no solo la configuración de las áreas podría estar jugando un rol importante en la modulación de la percepción de obras de arte, sino que la dimensión cromática es definitivamente relevante en dicha función cognitiva. La percepción de locomoción (*Motion*), interesante (*Interestingness*) y complejidad (*Complexity*) pareciera ser realmente influenciada por los valores del elemento vectorial *Value* en el espacio de color HSV, el cual está asociado a la brillantez de las formas. Podemos apreciar, sin embargo, que las imágenes pertenecientes a las Pinturas originales y aquellas del grupo *Valor* difieren considerablemente, por lo que este dato resulta sumamente interesante. Parece ser que, por lo menos para percibir que una pintura es interesante y compleja, nuestro aparato cognitivo simplemente requiere de la información de contrastes luminosos en el cuadro que se percibe. No obstante, el punto 2 – el que nos indica que el atributo *Motion* correlaciona entre el grupo control y el grupo *Matiz* – sugiere que la percepción de locomoción en una pintura puede ser modulada tanto por la brillantez de la imagen, como por los colores puros de la misma.

Por último, tomando el dato 3, la percepción de belleza parece ser independiente de la dimensión cromática. Esto es interesante ya que, como fue mencionado en el punto 8.1, los juicios estéticos (de los cuales la belleza es un muy claro ejemplo) podrían requerir mayor información no contenida en la dimensión cromática. Posiblemente, un ulterior modelo alternativo de generación de imágenes complejas, el cual contemple las sugerencias aquí plasmadas, podría verificar si es la configuración en las áreas y su relación escalar invariante la que promueva la percepción de juicios estéticos tales como la belleza.

8.3. Aspectos más destacados de las conclusiones

En resumen, podemos concluir que:

- 1) Nuestro modelo estocástico, el cual contempló la modulación de la probabilidad de repetición pixelar, no fue ideal para la generación de imágenes complejas.

- 2) Dado que la belleza (un juicio estético icónico) no es percibida por la influencia de la dimensión cromática, no se descarta que, a la postre, un modelo de generación de imágenes complejas satisfactorio logre evidenciar que la estética de una obra de arte es positivamente correlacionada con su grado de complejidad (Belke et al., 2015; Berlyne, 1974b; Reber et al., 2004b).
- 3) La percepción de los atributos *Motion*, *interestingness* y *Complexity* está estrechamente relacionada con el tipo de brillantez que conforma una imagen. Esto podría sugerir, a su vez, que la percepción de dichos atributos se correlaciona también entre ellos.

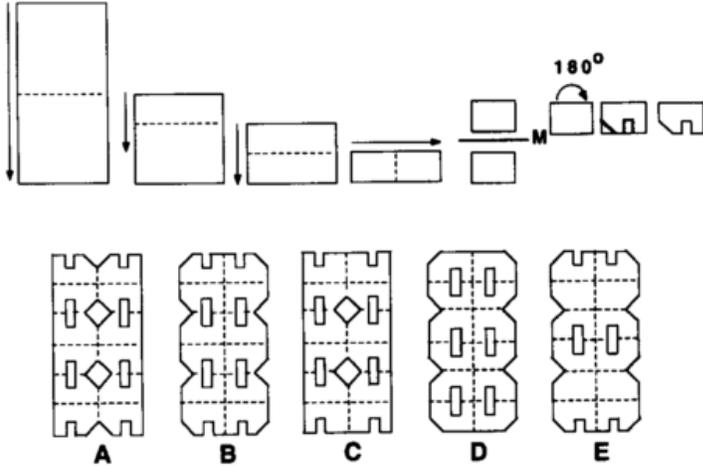
8.4. Incertidumbres y próximos pasos

Desafortunadamente, el presente estudio no logra dilucidar si la complejidad precisamente caracterizada es influyente en los juicios estéticos que se tienen al observar obras de arte. Además, debemos recordar que los experimentos que inspiraron la idea del presente trabajo fueron los realizados por Rauscher que descubrieron el Efecto Mozart (Rauscher et al., 1993). Esto es importante de mencionar porque los hallazgos que en el futuro aclaren qué tipo de grado de complejidad modula la percepción estética, serán solo el principio de una serie de investigaciones que deberán tener lugar para dar a conocer si el Efecto Mozart, con una caracterización de complejidad objetiva, persiste.

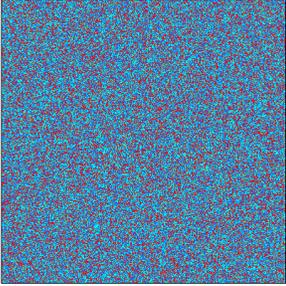
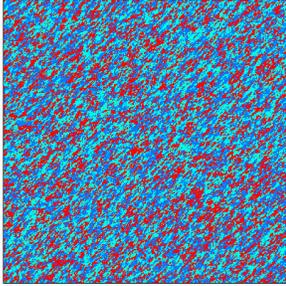
Además, como fue mencionado en los apartados 2.3, si la complejidad es una cualidad universal de la naturaleza, la cual trasciende especificidades como el tipo de materia y se concentra, más bien, en la configuración de los elementos que componen al objeto; es sin lugar a dudas plausible que el Efecto Mozart, de existir en los términos ya mencionados, logre producirse multimodalmente, es decir, tanto a través de las ondas mecánicas del sonido, como a través de los fotones.

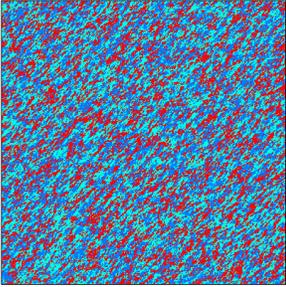
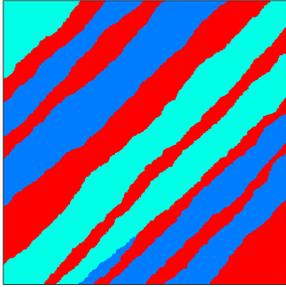
9. ANEXOS

9.1. Una ejemplo de la tarea *Folding and Cutting Paper*

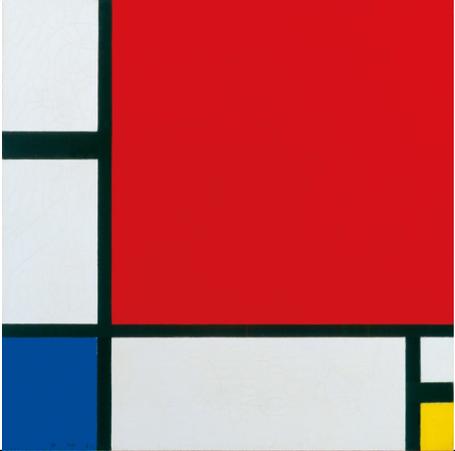
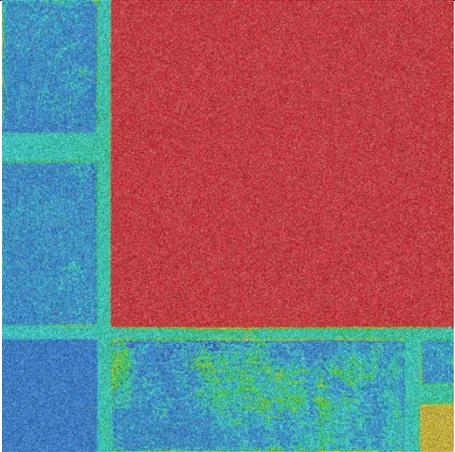
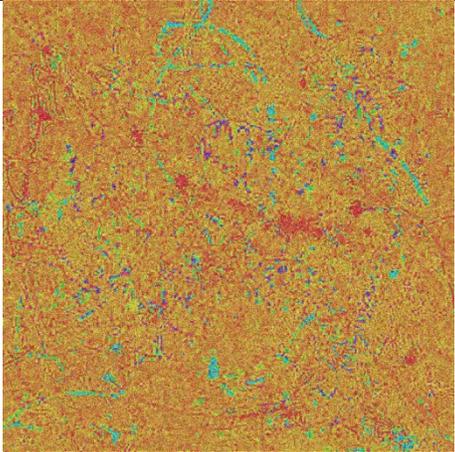


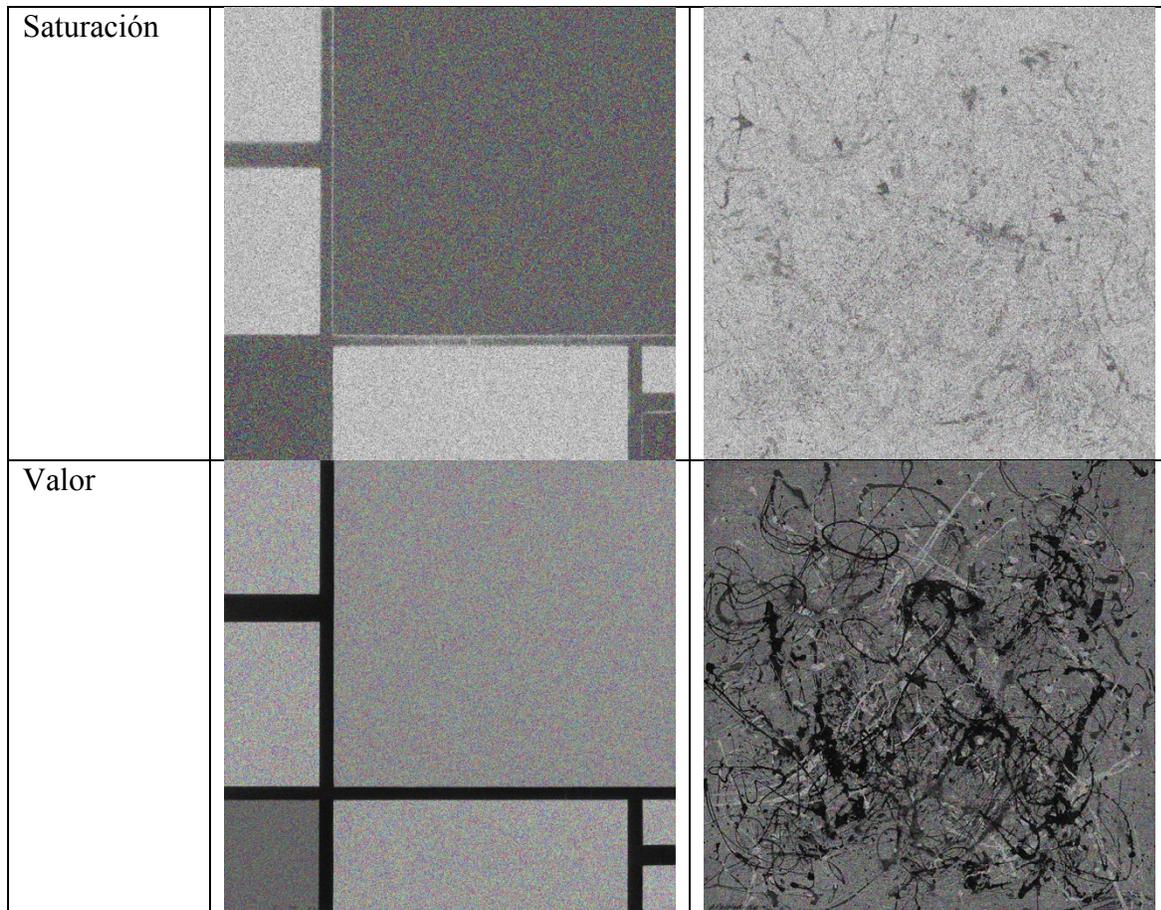
9.2. Imágenes generadas por el modelo estocástico de generación de imágenes complejas

EXPLORACIÓN GRUESA			EXPLORACIÓN FINA		
p1 y p2	q	imagen	p1 y p2	q	imagen
0.013	0.97 3	1 	0.466 0	0.068 0	1 

			35				35
							
	0.465	0.07		0.500	0.000		
		0		0	0		

9.3. Ejemplos de las modulaciones hechas en el espacio de color HSV para pinturas de Pollock y Mondrian

	Mondrian	Pollock
Pintura original		
Matiz		



10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arnheim, R. (1955). Art and visual perception, a psychology of the creative eye. *Educational Technology Research and Development*, 3(4), 301–303. <http://doi.org/10.1007/BF02719925>
- Bak, P., Tang, C., & Wiesenfeld, K. (1987). Self-organized criticality: An explanation of the 1/ f noise. *Physical Review Letters*, 59(4), 381–384. <http://doi.org/10.1103/PhysRevLett.59.381>
- Bassett, D. S., & Bullmore, E. (2006). Small-World Brain Networks. *The Neuroscientist*, 12(6), 512–523. <http://doi.org/10.1177/1073858406293182>
- Baumgarten, A. G. (1750). *Theoretische Ästhetik*.
- Bayer, R. (1961). *Historia de la Estética*.
- Becker, K. a. (2003). Stanford-Binet Intelligence Scales , Assessment Service Bulletin Number 1 History of the Stanford-Binet Intelligence Scales : Content and Psychometrics. *Intelligence*, (1), 14.
- Belke, B., Leder, H., & Carbon, C. C. (2015). When challenging art gets liked: Evidences for a dual preference formation process for fluent and non-fluent portraits. *PLoS ONE*, 10(8), 1–35. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0131796>
- Berlyne, D. E. (1974a). *Aesthetics and Psychobiology* (Meredith C).
- Berlyne, D. E. (1974b). Studies in the New Experimental Aesthetics: Steps Toward an Objective

- Psychology of Aesthetic Appreciation. *The Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 34(1), 86–87.
- Berman, M. G., Hout, M. C., Kardan, O., & Hunter, M. R. (2014). The Perception of Naturalness Correlates with Low-Level Visual Features of Environmental Scenes. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0114572>
- Birkhoff, G. D. (1933). *Aesthetic Measure*.
- Bodner, M., Muftuler, L. T., Nalcioglu, O., & Shaw, G. L. (2001). fMRI study relevant to the Mozart effect: Brain areas involved in spatial–temporal reasoning. *Neurological Research*, 23(7), 683–690. <http://doi.org/10.1179/016164101101199108>
- Braun, J., Amirshahi, S. A., Denzler, J., & Redies, C. (2013). Statistical image properties of print advertisements, visual artworks and images of architecture. *Frontiers in Psychology*, 4(NOV). <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00808>
- Bridgett, D. J., & Cuevas, J. (2000). Effects of listening to Mozart and Bach on the performance of a mathematical test. *Perceptual and motor skills*, 90(3 Pt 2), 1171–5. <http://doi.org/10.2466/pms.2000.90.3c.1171>
- Brochini, L., De Andrade Costa, A., Abadi, M., Roque, A. C., Stolfi, J., & Kinouchi, O. (2016). Phase transitions and self-organized criticality in networks of stochastic spiking neurons. *Scientific Reports*, 6(November), 1–15. <http://doi.org/10.1038/srep35831>
- Cash, a H., el-Mallakh, R. S., Chamberlain, K., Bratton, J. Z., & Li, R. (1997). Structure of music may influence cognition. *Perceptual and motor skills*, 84(1), 66. <http://doi.org/10.2466/PMS.84.1.66-66>
- Casti, J. L; Karlqvist, A. (2003). *Art and Complexity*. Elsevier. <http://doi.org/10.1016/B978-044450944-4/50013-X>
- Chialvo, D. R. (2007). The brain near the edge. *AIP Conference Proceedings*, 887, 1–12. <http://doi.org/10.1063/1.2709580>
- Chialvo, D. R. (2010). Emergent complex neural dynamics. *Nature Physics*, 6(10), 744–750. <http://doi.org/10.1038/nphys1803>
- Fechner, G. T., & Höge, H. (1876). Various Attempts to Establish a Basic Form of Beauty: Experimental Aesthetics, Golden Section, and Square. *Empirical Studies of the Arts*, 15(2), 115–130. <http://doi.org/10.2190/DJYK-98B8-63KR-KUDN>
- Flores-Valdés, J. (2011). Para atrapar la complejidad. En Flores-Valdés, J. & Martínez-Mekler, G. Encuentros con la complejidad (pp. 207-220), Ciudad de México, México: Siglo XXI.
- Gerritsen, J. (2010). The Effect of Tomatis Therapy on Children with Autism: Eleven Case Studies. *International Journal of Listening*, 24(1), 50–68. <http://doi.org/10.1080/10904010903466378>
- Gilmor, T. (1999). The Efficacy of the Tomatis Method for Childrn with Learning and Communication Disorders: A Meta-Analysis. *International Journal of Listening*, 13, 12–23.
- Gramazio, C. C., Laidlaw, D. H., & Schloss, K. B. (2017). Colorgorical: Creating discriminable and preferable color palettes for information visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23(1), 521–530. <http://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2598918>
- Hallam, S., Cross, I., & Thaut, M. (2009). *The Oxford Handbook of Music Psychology*.
- Hallam, S., Price, J., & Katsarou, G. (2002). The Effects of Background Music on Primary School Pupils’ Task Performance. *Educational Studies*, 28(2), 111–122. <http://doi.org/10.1080/03055690220124551>
- Hubel, H., & Wiesel, T. (1959). Receptive fields of single neurones in the cat straitte cortex.

- Journal of Physiology*, 148(1), 574–591. <http://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.174151>
- Ivanov, V. K., & Geake, J. G. (2003). The Mozart Effect and Primary School Children. *Psychology of Music*, 31(4), 405–413. <http://doi.org/10.1177/03057356030314005>
- Jausovec, N., Jausovec, K., & Gerlic, I. (2006). The influence of Mozart's music on brain activity in the process of learning. *Clinical Neurophysiology*, 117(12), 2703–2714. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.08.010>
- Johnson, J. K., Cotman, C. W., Tasaki, C. S., & Shaw, G. L. (1998). Enhancement of spatial-temporal reasoning after a Mozart listening condition in Alzheimer's disease: a case study. *Neurological research*, 20(8), 666–672. <http://doi.org/https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9864729>
- Jones, M. H., West, S. D., & Estell, D. B. (2006). The Mozart effect: Arousal, preference, and spatial performance. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, S(1), 26–32. <http://doi.org/10.1037/1931-3896.S.1.26>
- Kandel, E. R. (2014). An introduction to the work of David Hubel and Torsten Wiesel. *Journal of Physiology*, 592(1), 2–10. http://doi.org/10.1113/jphysiol.2013.268060_2
- Kant, I. (1799). *Observations on the Feeling of the Beautiful and Sublime*.
- Leder, H., Belke, B., Oeberst, A., & Augustin, D. (2004). A model of aesthetic appreciation and aesthetic judgments. *British HJournal of Psychology*, 95, 489–508. <http://doi.org/10.1348/0007126042369811>
- Leng, X., Shaw, G. L., & Wright, E. L. (2016). Coding of Musical Structure and the Trion Model of Cortex Author (s): Xiaodan Leng , Gordon L . Shaw and Eric L . Wright Published by : University of California Press Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/40285485>
- REFERENCES Linked references are ava, 8(1), 49–62.
- Martínez-Mekler, G., Martínez, R. A., del R??o, M. B., Mansilla, R., Miramontes, P., & Cocho, G. (2009). Universality of rank-ordering distributions in the arts and sciences. *PLoS ONE*, 4(3). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0004791>
- Mattson, M. P. (2014). Superior pattern processing is the essence of the evolved human brain. *Frontiers in Neuroscience*, 8(8 AUG), 1–17. <http://doi.org/10.3389/fnins.2014.00265>
- McKelvie, P., & Low, J. (2002). Listening to Mozart does not improve children's spatial ability: Final curtains for the Mozart effect. *British Journal of Developmental Psychology*, 20(2), 241–258. <http://doi.org/10.1348/026151002166433>
- McManus, I. C., Cook, R., & Hunt, A. (2010). Beyond the Golden Section and Normative Aesthetics: Why Do Individuals Differ so Much in Their Aesthetic Preferences for Rectangles? *Psychology of Aesthetics, Creativity & the Arts*, 4(2), 113–126. <http://doi.org/10.1037/a0017316>
- Montaño, U. (2012). Ugly Mathematics: Why Do Mathematicians Dislike Computer-Assisted Proofs? *Mathematical Intelligencer*. <http://doi.org/10.1007/s00283-012-9325-9>
- Nantais, K. M., & Schellenberg, E. G. (1999). The Mozart Effect: An Artifact of Preference. *Psychological Science*, 10(4), 370–373. <http://doi.org/10.1111/1467-9280.00170>
- Newman, M. E. J. (2005). Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. *Power laws, Pareto distributions and Zipf's law. Contemporary physics*, 46(5), 323–351. <http://doi.org/10.1016/j.cities.2012.03.001>
- Phillips, F., Norman, J. F., & Beers, A. M. (2010). Fechner's aesthetics revisited. *Seeing and perceiving*, 23(3), 263–71. <http://doi.org/10.1163/187847510X516412>
- Pietschnig, J., Voracek, M., & Formann, A. K. (2010). Mozart effect-Shmozart effect: A meta-analysis. *Intelligence*, 38(3), 314–323. <http://doi.org/10.1016/j.intell.2010.03.001>

- Ramachandran, V. S., & Hirstein, W. (1999). The Science of Art A Neurological Theory of Aesthetic Experience. *Journal of Consciousness Studies*, 6(6/7), 15–51.
<http://doi.org/10.1179/174327908X392906>
- Rauscher, F. H., Shaw, G. L., & Ky, K. N. (1993). Music and spatial task performance. *Nature*.
<http://doi.org/10.1038/365611a0>
- Rauscher, F. H., Shaw, G. L., & Ky, K. N. (1995). Listening to Mozart enhances spatial-temporal reasoning: towards a neurophysiological basis. *Neuroscience Letters*, 185(1), 44–47. [http://doi.org/10.1016/0304-3940\(94\)11221-4](http://doi.org/10.1016/0304-3940(94)11221-4)
- Reber, R., Schwarz, N., & Winkielman, P. (2004a). Personality and Social Psychology Review. *Personality and Social Psychology Review*, 8(4), 364–382.
<http://doi.org/10.1207/s15327957pspr0804>
- Reber, R., Schwarz, N., & Winkielman, P. (2004b). Processing Fluency and Aesthetic Pleasure: Is Beauty in the Perceiver's Processing Experience? *Personality and Social Psychology Review*, 8(4), 364–382. http://doi.org/10.1207/s15327957pspr0804_3
- Rideout, B. E., & Laubach, C. M. (1996). EEG correlates of enhanced spatial performance following exposure to music. *Perceptual and motor skills*, 82, 427–432.
<http://doi.org/10.2466/pms.1996.82.2.427>
- Sarnthein, J., vonStein, a, Rappelsberger, P., Petsche, H., Rauscher, F. H., & Shaw, G. L. (1997). Persistent patterns of brain activity: an EEG coherence study of the positive effect of music on spatial-temporal reasoning. *Neurological research*, 19(September), 107–116.
<http://doi.org/10.1080/01616412.1997.11740782>
- Solé, R. V, Manrubia, S. C., Luque, B., Delgado, J., & Bascompte, J. (1996). Phase transitions and complex systems. *Complexity*, 13–26. <http://doi.org/10.1002/cplx.6130010405>
- Steele, K. M. (2001). The Mozart Effect: An example of the scientific method in operation. *Psychology Teacher Network*, (December), 2–5.
- Steele, K. M., Bass, K. E., & Crook, M. D. (1999). The Mystery of the Mozart Effect: Failure to Replicate. *Psychological Science*, 10(4), 366–369. <http://doi.org/10.1111/1467-9280.00169>
- Stephan, K. E., Hilgetag, C.-C., Burns, G. A. P. C., O'Neill, M. A., Young, M. P., & Kotter, R. (2000). Computational analysis of functional connectivity between areas of primate cerebral cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 355(1393), 111–126. <http://doi.org/10.1098/rstb.2000.0552>
- Stephens, C. R. (2011). Lo que no es la complejidad. En Flores-Valdés, J. & Martínez-Mekler, G. Encuentros con la complejidad (pp. 13-47), Ciudad de México, México: Siglo XXI.
- Sutoo, D., & Akiyama, K. (2004). Music improves dopaminergic neurotransmission: Demonstration based on the effect of music on blood pressure regulation. *Brain Research*, 1016(2), 255–262. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2004.05.018>
- Thompson, B. M., & Andrews, S. R. (2000). An historical commentaru on the psysiological effects of music: Tomatis, Mozart and neuropsychology. *Integrative Physiological and behavioral Science*, 35(3), 174–188.
- Thompson, W. F., Schellenberg, E. G., & Husain, G. (2001). Arousal, Mood, and The Mozart Effect. *Psychological Science*, 12(3), 248–251. <http://doi.org/10.1111/1467-9280.00345>
- Toukhsati, S. R., & Rickard, N. S. (2001). Exposure to a rhythmic auditory stimulus facilitates memory formation for the passive avoidance task in the day-old chick. *Journal of comparative psychology*, 115(2), 132–139. <http://doi.org/10.1037/0735-7036.115.2.132>
- Vygotsky, L. (1971). *Psicología da Arte*.
- Wilson, E. O. (1998). *Consilience*.

- Winger Bagley, F. (1902). An Investigation of Fechner ' s Colors. *The American Journal of Psychology*, 13(4), 488–525.
- Wundt, W. (1905). *Principles of Physiological Psychology*. *Science* (Vol. 22).
<http://doi.org/10.1126/science.22.572.789>
- Young, M. P. (1993). The organization of neural systems in the primate cerebral cortex.
Proceedings Of The Royal Society Of London Series B-Biological Sciences, 252(1333), 13–18. <http://doi.org/10.1098/rspb.1993.0040>
- Zeising, A. (1855). Chapter 3 Zeising and the Golden Number, 45–46.
- Zipf, G. K. (1949). Human Behaviour and the Principle of Least Effort: An Introduction to Human Ecology. *Addison-Wesley Press*. Recuperado a partir de <http://www.amazon.com/Human-Behavior-Principle-Least-Effort/dp/161427312X>