



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

ESCHER: MATEMÁTICAS, CRISTALOGRAFÍA E IMPOSIBLES
EL ARTE COMO HERRAMIENTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

P R E S E N T A

SILVIA FLOR PIÑERA BARRERA

TUTORA: DRA. JULIA TAGÜEÑA PARGA



MÉXICO, D.F.

2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mi familia, por todo el apoyo que me ha dado para seguir en este camino de búsqueda personal.

A mis amigos por ser mi otra familia, por toda la compañía y complicidad. En especial a aquellos que le dan sentido a las cosas pequeñas de la vida.

A mi asesora, Dra. Julia Tagüeña, por su dirección y comentarios que hicieron que este trabajo tuviera orden y estructura. A todas las personas que colaboraron en la revisión final de este trabajo: Mtra. Ana María Sánchez, Mtra. Ana Irene Ramírez-Galarza, Fis. Sergio de Regules y Dr. Rafael Barrio.

Al Posgrado en Filosofía de la Ciencia.

Al Proyecto Sociedad del Conocimiento y Diversidad Cultural por el apoyo económico recibido durante el periodo de octubre de 2007 a octubre de 2008, meses en los que este trabajo fue parte de dicho proyecto.

A CONACYT por la beca otorgada como Ayudante de Investigador Nacional Nivel III, en los meses de febrero de 2009 a marzo de 2010.

Cuántas veces me pregunto si esto no es más que escritura, en un tiempo en que corremos al engaño entre ecuaciones infalibles y máquinas de conformismos. Pero preguntarse si sabremos encontrar el otro lado de la costumbre o si más vale dejarse llevar por su alegre cibernética, ¿no será otra vez literatura? Rebelión, conformismo, angustia, alimentos terrestres, todas las dicotomías: el Yin y el Yang, la contemplación o la Tatigkeit, avena arrollada o perdices faisandées, Lascaux o Mathieu, qué hamaca de palabras, qué dialéctica de bolsillo con tormentas en pijama y cataclismos de living room. El solo hecho de interrogarse sobre la posible elección vicia y enturbia lo elegible. Que sí, que no, que en ésta está... Parecería que una elección no puede ser dialéctica, que su planteo la empobrece, es decir la falsea, es decir la transforma en otra cosa. Entre el Yin y el Yang, ¿cuántos eones? Del sí al no, ¿cuántos quizá? Todo es escritura, es decir fábula. ¿Pero de qué nos sirve la verdad que tranquiliza al propietario honesto? Nuestra verdad posible tiene que ser invención, es decir escritura, literatura, pintura, escultura, agricultura, piscicultura, todas las turas de este mundo. Los valores, turas, la santidad, una tura, la sociedad, una tura, el amor, pura tura, la belleza, tura de turas.

Julio Cortázar (Rayuela, capítulo 73)

A modo de justificación personal

Sí, la ciencia es fascinante.

Hay muy pocas cosas como el descubrir el por qué de algo, el por qué de uno mismo. Se vuelve una necesidad, casi una adicción. Justo ese instante en el cual entendemos lo que estamos viendo o pensando, instante enormísimo que carece de palabras para describirlo. Algo similar ocurre cuando vemos una obra de arte que de pronto nos significa algo, nos roba el aliento y cambia algo dentro de nosotros. Ya después podremos poner pelos y señales y hacer descripciones, teorizar y explicar el por qué de lo que vemos. Ah pero el instante es el que lo llena todo.

Me dicen que la ciencia es de gran importancia para la resolución de problemas y para tener herramientas que nos permitan una mejor vida. Y sí, estoy de acuerdo, no seríamos lo que somos sin nuestro conocimiento actual del mundo. Entonces me pregunto si lo que me causa tal fascinación no es precisamente todo ese mundo externo que por momentos creo entender, los cuentos que inventamos sobre él y es cuando me dan unas inmensas ganas por compartirlo, de no saberme sola ante tremenda belleza.

Así creamos mil artilugios para describir lo que vemos y sentimos, formamos conceptos y explicaciones útiles y nos llenamos de aparatos y le ponemos nombre a todas las cosas. Todo esto desde nuestros inicios, sin importar cuánto nos compliquemos aquí seguimos con las mismas ganas de soñar. Creamos cultura y nos reinventamos cada día, algunas veces de forma casi esquizofrénica. No, no tenemos salida, somos incurables y precisamente por eso es que estar haciendo esto vale tanto la pena.

Índice

Introducción		Pág. 1
Capítulo 1	El arte como herramienta de divulgación científica	4
	Ciencia y arte	4
	... y divulgación	10
Capítulo 2	Escher, el artista y su obra	13
	Pequeña biografía	13
	La obra de Escher	16
	Perspectiva (inicios)	17
	Sólidos platónicos, arquimedeanos, etc.	18
	Reflexiones en esferas	18
	Mosaicos	18
	Topología	19
	Imposibles	19
Capítulo 3	La ciencia en la obra de Escher	21
	Matemáticas	22
	Teselaciones	22
	Infinito y geometrías no euclidianas	23

	Las matemáticas de Escher	24
	Cristalografía	27
	Cristales y cuasicristales	27
	Conceptos de cristalografía en la obra de Escher	30
	Imposibles	31
	Figuras imposibles	31
	Los mundos imposibles de Escher	32
Capítulo 4	Uso de la obra de Escher en la divulgación	35
	El mensaje científico de la obra de Escher	35
	Ejemplos del uso de la obra de Escher para la comunicación de la ciencia	38
	Modelos de divulgación científica	40
	Uso del arte en la divulgación científica	43
Capítulo 5	Ejemplo de divulgación usando el arte de Escher	48
	Artículo: <i>Mundos Imposibles</i>	49
Conclusiones		53
Bibliografía		55
Imágenes		59

Introducción

La divulgación de la ciencia requiere de distintas herramientas para lograr sus propósitos específicos de comunicación, así, busca apoyarse en metáforas, modelos, imágenes, analogías y otros recursos con el fin de presentar, de forma atractiva, los conceptos o ideas científicas, e incluso para generar reacciones sobre la ciencia en general.

Actualmente es necesario abrir espacios para la reflexión crítica y la generación de criterios ante temas de ciencia. Si bien el fin no es cambiar todos los espacios para que sirvan a este propósito, la creación de diálogos debe presentarse de alguna forma dentro del programa total de divulgación.

El arte representa una herramienta para estos fines, además de los ya probados usos de elementos estéticos en museos de ciencia y al escribir textos de divulgación, las posibilidades del arte en este tema son amplias.

Uno de los principales atractivos de la actividad artística es que representa puntos de vista subjetivos sobre las cosas, lo cual permite poner en diálogo al público con el mensaje presentado al abrir la posibilidad de que lo que se presenta no es sinónimo de incuestionabilidad, como algunas veces la ciencia se ha percibido entre la gente. Esto es, el arte permite al espectador estar de acuerdo o no con los temas y la forma en la que se presentan dentro de una obra, lo cual resulta valioso cuando una de las finalidades de la comunicación es la formación de ciudadanía con criterio científico.

Este propósito de comunicación es de gran importancia actualmente, donde la humanidad se encuentra ante problemas que la ciencia ha identificado y sobre los cuales busca soluciones, como por ejemplo el cambio climático. Sin embargo, la solución a estas problemáticas no se encuentra únicamente en manos de la ciencia, sino que debe ser papel de todas las esferas sociales el tomar las medidas necesarias, más aún cuando la ciencia se ve influenciada por el resto de la sociedad e igualmente incide de forma directa en ella. Es decir, al ser necesaria la participación de todas las actividades sociales, esperando además que sea una participación responsable, se requiere de igual forma que exista comunicación entre ellas. Por eso, la comunicación de la ciencia resulta de gran importancia en la sociedad actual.

Dentro de la divulgación de la ciencia existen distintos modelos teóricos. Para la divulgación, aquellos que incluyen al público dentro del diálogo y que la consideran una actividad abierta y adaptativa resultan de especial interés, los cuales parecen también congeniar con las corrientes filosóficas que consideran necesario establecer equilibrio entre distintas esferas de la vida social, como resultan las opiniones individuales y los intereses de grupo, o bien las creencias particulares y el conocimiento científico. El camino que encuentran algunos autores para ello es el rescate de la carga subjetiva en los temas de importancia. De esta forma, el arte, al tratarse claramente de la subjetividad del artista, resulta una valiosa herramienta para la comunicación científica.

El arte también representa una importante herramienta para la generación de emociones ante el tema científico. Actualmente se espera que los espacios de divulgación científica, especialmente los museos, no sólo presenten el tema sino que permitan una interactividad con el público, entendida ésta en tres aspectos: manual, mental y emocional, siendo en esta última donde el arte actúa. Una forma de lograr esta interacción emocional es involucrando a la gente con el fenómeno científico presentado, para lo cual un camino es hacer referencia a la cotidianidad.

En este trabajo se analiza el ejemplo particular del artista holandés M.C. Escher, cuya obra es uno de los ejemplos más mencionados de arte con fondo científico. Aquí, además de explicar qué temas científicos toca, se hablará del desarrollo de la obra en torno a los intereses particulares del

artista, demostrando que la carga subjetiva es inseparable de la forma en la que se presentan los conceptos científicos, con lo cual puede resultar valioso para la divulgación de los mismos. De igual manera, se analiza cómo el uso de imágenes sencillas y con un referente a la vida cotidiana de las personas, es lo que logra un gran atractivo dentro de su obra, logrando con ello una transmisión más efectiva del mensaje.

De esta forma, en el capítulo 1 se aborda el tema de arte y ciencia, sus similitudes y diferencias, así como los propósitos de estas actividades con el fin de establecer un panorama general de lo que tratan. De igual manera se habla de divulgación en términos de su relación con el arte para presentar al último como una posible herramienta de divulgación.

En el capítulo 2 se hace un pequeño resumen de la vida y obra de M.C. Escher, dividiendo sus trabajos en seis temas básicos: perspectiva, sólidos, reflexiones en esferas, mosaicos, topología y figuras imposibles. En el capítulo 3 se profundiza un poco en los conceptos científicos que se pueden encontrar en la obra del artista holandés, explicando primero dichos conceptos y luego mencionando cómo Escher los presenta. Este capítulo se divide en tres temas: matemáticas, cristalografía e imposibles.

En el capítulo 4 se hace un breve análisis del mensaje científico en la obra de Escher, ejemplificando además la forma en la que ésta ha sido usada dentro de la divulgación. Posteriormente se presentan algunos modelos teóricos de comunicación científica con el fin de establecer una discusión de cómo el arte puede ser usado con estos fines.

Finalmente, el capítulo 5 es un ejemplo, a modo de artículo, de los usos que la obra de Escher puede tener para la divulgación de temas de matemáticas, con especial énfasis en el discurso propio de la obra.

A modo de resultados, las conclusiones son enumeradas al final de este trabajo.

Capítulo 1

El arte como herramienta de divulgación científica

Ciencia: el objetivo principal es hablar de ella, transmitir algo sobre ella. Ya sea porque creamos que es necesario para la formación de ciudadanía responsable, o porque nos parezca lo suficientemente fascinante como para querer compartir la emoción que nos provoca, de igual manera el tema central es la ciencia.

Es así que comenzamos además a pensar sobre ella y a discutir todo lo que implica aquello de lo que estamos hablando. Y como nuestro propósito específico es la comunicación, hacemos de ésta un nuevo objeto de estudio, buscando herramientas que nos ayuden a transmitir de forma efectiva nuestro mensaje. Para esto, es necesaria esa reflexión sobre lo que puede o no ser la ciencia, y cómo se encuentra en relación con otras partes de la cultura humana.

Ciencia y arte

Uno de los temas de moda actualmente al hablar de la ciencia es el de la relación que tiene con el arte. Esto tal vez debido a que, de entrada, es común pensar en éstas como actividades que si bien no son contrarias, son lo suficientemente distintas como para ser contrastadas.¹

¹ Coppel, p. 203

Las concepciones populares sobre lo que es la ciencia y lo que es el arte se han vuelto estereotipos que catalogan a la ciencia como la reina de la razón y la objetividad, mientras que el arte es visto como la emoción pura y subjetiva.² Ambas parecen ser creadas por genios locos, personas brillantes e incomprendidas que sin un notable esfuerzo sobresalen del resto de las personas para maravillarnos con sus grandes y complicados descubrimientos, o bien con sus apasionadas obras de arte. Sin embargo, el estereotipo de genio científico difiere del artístico; uno es un tanto torpe y retraído, mientras que el otro es bohemio, con una vida desastrosa y que difícilmente puede hacer una operación matemática complicada.

Así, pareciera que lo único que comparten es la dificultad de sus actividades y la admiración que nos provocan. Esto no sólo ocurre entre la gente común, sino que entre ellas mismas se da un fenómeno de proyección de ideales que no se tienen, de una actividad hacia el otro lado.³ Es decir, desde el punto de vista del artista, se piensa que la ciencia es bastante más rigurosa y estable de lo que es el arte; mientras que el científico considera que el arte es una actividad más libre que la ciencia. Así, la falta de conocimiento sobre el otro ayuda a mantener los mitos existentes en torno a este tema.

Al realizar estas comparaciones pareciera necesario definir qué es ciencia y qué es arte. Sin embargo, la filosofía de la ciencia se ha quebrado la cabeza intentando definir a la ciencia y buscando un método infalible (y científico) para determinar qué se puede y qué no catalogar como tal, no logrando un acuerdo claro y llegando incluso a posturas radicales dentro de la filosofía, como la de Paul Feyerabend, quien afirma que no existe una sola definición para ello.⁴ Igualmente resulta complicado precisar qué es el arte,⁵ más aún cuando surgen polémicas sobre artistas y sus obras que chocan con otras partes de la cultura, como son los valores morales. Así, se puede hablar de las

² Roque, p. 169

³ Roque, p. 170

⁴ Feyerabend, "Adiós a la razón", p. 20

⁵ Escalante, p. 85

características que una obra debe tener para ser considerada artística, pero no existe una sola forma de clasificación para ello.⁶

No obstante, tenemos una noción bastante clara de lo que son, popularmente, el arte y la ciencia y cómo clasificarlas. Es fácil estar de acuerdo con que la física, la química y las matemáticas⁷ son claros ejemplos de ciencia, mientras que el surrealismo y el impresionismo lo son de movimientos artísticos. Tal vez nos parezca bello un teorema matemático y encontremos elementos científicos al comprender una obra cubista, no por ello dejan de ser ciencia y arte respectivamente.

De igual forma sucede con las personas que realizan dichas actividades. Claramente consideramos a Newton, Gauss y Einstein como científicos, mientras que Picasso, Goya y Rembrandt son artistas. Tal vez tenían gustos e intereses en otras disciplinas, incluso pudieron haber incursionado en ellas, pero fácilmente logramos distinguir lo que son. Existen otros personajes que hicieron grandes contribuciones de ambos lados, como es el caso de Leonardo Da Vinci; sin embargo, igualmente podemos distinguir a la Mona Lisa como obra de arte mientras que los estudios sobre el vuelo son científicos. El problema comienza al determinar si, por ejemplo, los apuntes sobre dichos estudios del vuelo son únicamente artísticos y si la visión artística de Da Vinci no influyó de alguna forma a sus consideraciones científicas. Es decir, hay una zona gris en la que resulta difícil diferenciar dónde comienza el arte y termina la ciencia, y viceversa.

Un ejemplo de esto es la obra del artista holandés M.C. Escher. Además de que sus grabados son considerados obras de arte, ha llamado especialmente la atención de la comunidad científica y

⁶ El arte por supuesto incluye diversas manifestaciones, como la pintura, la escultura, la música y por qué no la literatura, por no mencionar el cine, las instalaciones y los *performance* modernos. Así, cada una de estas formas de arte tiene su acercamiento particular con la ciencia; sin embargo, hablar de todas juntas resulta difícil ya que entre ellas existen grandes diferencias. Por esto, la mayor parte de este trabajo, cuando se habla de arte, se hace referencia a las artes visuales.

⁷ Menciono las matemáticas intencionalmente ya que son tema de este trabajo. No obstante existen discusiones sobre si es o no válido clasificar a las matemáticas como ciencia, ya que esta disciplina no tiene un referente directo en la naturaleza. Por ello, se ha propuesto que incluso la forma de divulgar matemáticas requiera de un estudio especial ya que resulta difícil acercar a la gente al hablar de conceptos tan abstractos y aislados de la vida común. Sin embargo, dentro de este trabajo se considera a las matemáticas igual que a la física, sobre todo cuando dentro de la obra de Escher es difícil diferenciarlas.

ha sido tomado como ejemplo al hablar de teselaciones y de cristalografía, esto debido a los propios intereses del artista y la forma en la que concibió su obra. Sin embargo, algunas veces los estudios del arte lo han calificado de rígido y demasiado matemático al hablar de su valor artístico,⁸ mientras que la ciencia lo sigue considerando puramente arte.

Pero, ¿qué sucede?, ¿cómo podemos hablar en términos de arte y ciencia cuando parecen mezclarse?, o bien ¿es realmente necesaria esta diferenciación entre ellas? El primer punto que tienen en común es que ambas actividades son inherentemente humanas. El hombre, al encontrarse frente al mundo y la realidad, intenta explicarlo y tiene la necesidad básica de expresarse. Así, el arte y la ciencia cumplen con papeles distintos: la ciencia busca explicaciones y el comprender lo que sucede, ya sea para defenderse y obtener herramientas que faciliten la vida, o bien para satisfacer la necesidad de autocomprensión; por su parte, el arte surge de la necesidad de expresar la emoción que la reflexión y el mismo mundo le producen. Además, al ser creadas por el mismo hombre, tanto la ciencia como el arte comparten un origen común dentro de la mente humana, utilizando formas de lenguaje variadas y abstrayendo ideas y conceptos para posteriormente ser explicados o proyectados.⁹ Además, los estudios sociales de la ciencia han tratado de explicar y borrar poco a poco todas estas dicotomías al describir a la ciencia como una actividad social más, sujeta a interpretaciones, intereses e influenciada por un contexto histórico. Así mismo, los estudios del arte han demostrado la parte racional y la carga de conocimiento que éste contiene.¹⁰

De esta manera, las relaciones entre ciencia y arte son variadas, y van desde la manipulación del mundo material, hasta el discurso científico en el arte y la belleza implícita en postulados científicos.

Una de las formas más básicas en las que el arte se acerca a la ciencia es en la técnica.¹¹ Así como el discurso es importante para una obra de arte, el dominio de la técnica habla de la calidad de la misma. Esto es el manejo de materiales, la creación de herramientas y la experimentación con la

⁸ Ernst, p. 15

⁹ Roque, p. 173, 176

¹⁰ Chavolla, p. 33

¹¹ Del Río, p. 278

materia al hacer arte. En este sentido el artista no sólo se expresa, sino que por momentos se convierte en una especie de científico que investiga y aprende del comportamiento de la naturaleza para manipularla y crear su obra.

Estos experimentos no son independientes de los logros científicos de su época. Estando dentro de un mismo contexto, los intereses humanos por ciertos temas son abordados desde varios puntos de vista. Así, el conocimiento científico que hay de fondo para lograr un pigmento va de la mano con el conocimiento sobre la química de algunos materiales. De igual forma, ante las nuevas concepciones de lo que es la luz y la forma en la que percibimos los objetos, surge la inquietud por representar en la pintura no a los objetos, sino a la luz que éstos reflejan.

El tema científico también es mencionado de forma recurrente en el arte, de manera que las discusiones y teorías científicas son representadas con cierta iconografía y formando parte de los registros sobre las actividades de la época.

Los grandes avances científicos tienen repercusiones en la forma de ver y comprender al mundo, muchas veces generando polémicas al contradecir algunos de los valores más arraigados por la misma comunidad científica y la gente en general. Estas discusiones también se ven reflejadas de forma artística,¹² muchas veces no sólo en el discurso, sino incluso en la forma de concebir y realizar arte. Uno de los ejemplos más conocidos al respecto es el del cubismo, el cual surge a raíz de las nuevas concepciones de lo que es el tiempo y el espacio tras formularse la Teoría de la Relatividad. Aún más, la diferencia entre el cubismo sintético y el analítico sólo puede comprenderse plenamente cuando se entienden las discusiones entre ciencia sintética y ciencia analítica. Así, existen ciertas obras, o incluso movimientos artísticos completos, que no pueden ser entendidos por completo sin tener el conocimiento de la ciencia por la que surgen.

¹² Olea, p. 52

Pero este reflejo de la ciencia en el arte no es accidental.¹³ A lo largo de la historia estas dos actividades han sido vistas y concebidas de formas distintas, por lo que es necesario poner la discusión sobre sus semejanzas y diferencias dentro del contexto histórico adecuado. Y no sólo eso, además de la historia, existen consideraciones filosóficas por parte de ambas disciplinas al momento de autodefinirse y plantearse sus actividades y razones de ser.¹⁴

Es a partir del siglo XVIII que el arte se vuelve objeto de estudio independiente y se espera tener de él un método similar al de las ciencias naturales para describirlo y calificarlo.¹⁵ Dentro de la agenda de la Ilustración el arte ocupa un papel importante, concibiéndolo y formalizándolo como una actividad cercana a la ciencia. Sin embargo, el romanticismo niega el absoluto dominio de la razón en las actividades humanas, separándose así de la ciencia de forma intencional. De esta manera, el estira y afloje para tratar de conciliar ambas actividades depende no sólo de la forma en la que son vistas, sino también de la propia intención de cada una de ellas.¹⁶

Lo que no se puede negar es que ambas son parte de la cultura y que, en mayor o menor medida, ambas tienen una parte del conocimiento. Así, son imprescindibles en la vida del hombre, complementándose y necesitándose incluso entre ellas.¹⁷

¹³ Existe además un valor estético en la ciencia. No es difícil encontrar conceptos como simetría, simplicidad, elegancia y armonía al hablar de teorías y postulados científicos. Así, la estética puede ser una herramienta en la ciencia que ayude a formular teorías, aunque no por ello signifique que tengan mayor validez sobre otras; sin embargo, dentro de los estudios históricos de la ciencia, Kuhn encuentra que, al momento de tener que escoger entre dos teorías similares que expliquen lo mismo, la ciencia se ha inclinado por aquellas que tienen mayor carga estética.

Cabe resaltar también que estos conceptos de estética en la ciencia no son precisamente iguales a los de estética en el arte, es decir, la elegancia o simplicidad no tiene el mismo significado cuando se habla de ciencia que cuando se habla de una obra de arte.

¹⁴ Chavolla, p. 48

¹⁵ Chavolla, p. 33

¹⁶ Por su parte, Feyerabend encuentra fuertes similitudes entre ambas disciplinas haciendo una reflexión que parte por el lado del arte. Así, al seguir las teorías que consideran que el arte no es acumulativo y que cada cambio de corriente estética supone un cambio de consideraciones de reglas y valores en la actividad artística, llega a la conclusión de que dichas teorías también son aplicables para las ciencias. [Feyerabend, "Ciencia como arte", pp. 190]

¹⁷ Escalante, p. 83

... y divulgación

Al ser la ciencia una parte importante de la cultura, y justo aquélla que intenta dar explicaciones comprobadas y sistemáticas del mundo, su comunicación resulta de gran importancia para el desarrollo de las personas y su calidad de vida.

El conocimiento científico proporciona herramientas, y el pensamiento científico el razonamiento necesario para enfrentarse a los problemas.¹⁸ En general, cualquier tipo de conocimiento representa poder,¹⁹ ya sea poder sobre aquellos que no lo tienen, o bien sobre la naturaleza entendido como la capacidad de manipularla y trasformarla. Por eso, no es de sorprenderse que los países desarrollados tengan mayor cultura científica que aquéllos en vías de desarrollo. De esta forma, la comunicación científica hacia la ciudadanía es una forma de democratización,²⁰ ya que proporciona las mismas herramientas y con ello permite reducir brechas de oportunidades entre las personas.

La democratización mediante la ciencia, así como la democratización del acceso al conocimiento, tiene como objetivo "... favorecer a los más en lugar de a los menos".²¹ Debido a que actualmente la tecnología, de la mano del conocimiento científico, es la principal fuerza de construcción (y de destrucción), representa también la base principal de las relaciones de poder.²² Con la especialización, el conocimiento se ha vuelto más difícil de comprender, generando incluso cierta desconfianza entre la gente. Es por esto que la comunicación de la ciencia de forma accesible es necesaria para formar una conciencia científica colectiva, y con ello reforzar la sociedad

¹⁸ Herrera, p. 205

¹⁹ Wagensberg, "El herrero y el biólogo"

²⁰ Arocena, p. 31

²¹ Arocena, p. 30

²² Arocena, p. 25

democrática.²³ Para ello, se habla de que el mejor lugar para mejorar la percepción pública de la ciencia es la escuela,²⁴ teniendo que incluir tanto el método y el lenguaje científico, como los avances de la ciencia actual.

Sin embargo, la comunicación científica no sólo se da en las escuelas. La divulgación se encarga de comunicar ciencia a públicos no especializados de forma distinta a la que se realiza a través de la educación, ya que mientras en la escuela el alumno debe aprender y ser examinado, la divulgación debe atrapar a su público e interesarlo en el tema.²⁵ Así, el discurso o mensaje que se quiera transmitir deberá ser adecuado a un público específico y según el propósito particular que se tenga. Para ello es necesario recurrir a distintos instrumentos, ya sean literarios, museográficos, o bien artísticos, entre otros.²⁶

Debido a que se trata con un público no cautivo, la creatividad es importante al momento de hacer divulgación.²⁷ De esta forma se ha hablado de una cierta semejanza entre ésta y el arte, donde el estilo y la innovación resultan importantes. Una buena divulgación científica debe crear productos únicos que llamen la atención de la gente. En este sentido es fácil encontrar textos de divulgación científica que resultan ser verdaderas obras literarias.

No obstante, no sólo en la creatividad el arte se acerca a la divulgación. La transmisión de un cierto mensaje es importante para ambas actividades. En arte, si una obra no transmite algo (emoción, idea, reacción o mensaje), no puede ser considerada arte; tal vez tenga un buen dominio de la técnica y presente elementos estéticos; sin embargo, la presencia de un discurso es indispensable. En divulgación ocurre lo mismo, si se tiene un cuento creativo o una pieza bonita de un museo que sin embargo no hablan de ciencia, no se trata de divulgación científica.²⁸ Así, el propósito fundamental de la divulgación es lograr transmitir algo sobre ciencia, siendo este algo no

²³ Calvo, p. 33

²⁴ Calvo, p. 167

²⁵ López Beltrán, p. 291

²⁶ Chávez, p. 92

²⁷ López Beltrán, p. 291

²⁸ Marcos, A.

sólo los resultados o los pasos de la actividad científica, sino también la forma de razonar, la historia e incluso emociones y reacciones ante la misma.²⁹

El acercamiento especial entre divulgación y las artes visuales se da por la utilidad del lenguaje visual que el arte representa. Esto es debido a que este tipo de lenguaje facilita la representación de ideas. Es decir, al tratarse la ciencia de conceptos abstractos, es necesario representarlos mediante un lenguaje, y debido a que las artes plásticas involucran un lenguaje visual que de igual forma abstrae los conceptos y las ideas representándolas en imágenes (ya sean visuales, sonoras, etc.), es mediante este lenguaje que la idea científica puede ser transmitida.

La propuesta de la utilización del arte como herramienta de divulgación no se refiere únicamente a la utilización de elementos estéticos al momento de diseñar piezas de museo y de hacer referencia a obras de arte que hablen de un tema científico en específico,³⁰ sino que además se pretende hacer un análisis de la reacción y emoción que el arte tiene con respecto a la ciencia.

Así, en este trabajo se toma como ejemplo al artista holandés M.C. Escher, el cual generalmente es mencionado como ejemplo clásico de arte con fondo científico, intentando demostrar que la ciencia en su obra no sólo se encuentra en la técnica y forma, sino de manera muy profunda en el discurso de la misma, lo cual abre grandes posibilidades para la comunicación de las ideas científicas que su obra toca.

²⁹ Herrera, p. 207

³⁰ Wagensberg, "The beautiful and the intelligible..."

Capítulo 2

Escher, el artista y su obra

M.C. Escher³¹ fue un artista gráfico holandés reconocido por sus grabados con temas matemáticos como son las figuras imposibles, los nudos, las bandas de Möbius, los sólidos platónicos y los mosaicos. Aunque su nombre no es muy popular entre la gente, las referencias a imágenes de escaleras que suben y bajan y los juegos ópticos entre cóncavo y convexo son fácilmente recordados y admirados por su complejidad.

De forma especial, Escher es admirado dentro de la comunidad científica, la cual le dio los primeros reconocimientos al artista y su obra. No obstante, el valor de Escher no es únicamente matemático, su obra representa observaciones y reflexiones profundas, las cuales el mismo autor quería compartir.

Pequeña biografía

Maurits Cornelis Escher nació el 17 de junio de 1898 en Leeuwarden, Países Bajos. Fue el hijo menor de un ingeniero hidráulico, quien quiso que el joven Escher estudiara arquitectura en la



Imagen 1
Autorretrato de MC Escher.

³¹ Ver imagen 1, p. 59

Escuela de Arquitectura y Artes Decorativas de Haarlem. Sin embargo, Escher quien era un niño tímido y enfermizo, nunca fue un estudiante brillante, y en lo único en lo que llegó a destacar fue en sus clases de dibujo. Así, cambió la carrera de arquitectura por la de artes gráficas, a la cual entró bajo la tutela de Samuel Jessurum de Mesquita, de quien aprendió las técnicas de grabado en madera.

A partir de 1922 realizó varios viajes a Italia en busca de sus paisajes que ya conocía de un viaje familiar y que lo habían dejado impresionado; en ellos encontró una gran fuente de inspiración para la realización de diversos grabados. En uno de estos se instaló un tiempo en una pensión donde también se encontraba una familia proveniente de Suiza. Durante algunos meses Escher hizo algunos retratos de la hija de la familia, Jetta Umiker,³² con quien después se casó. Juntos, se establecieron en las afueras de Roma. Por esas mismas fechas Escher tuvo su primera exposición individual, con lo cual fue ganando fama poco a poco.

En 1926 nació su primer hijo, George Escher, y se dice que la fama del artista había crecido tanto, que ambos, el Rey Emmanuel y Mussolini, se encontraron presentes en el bautizo del niño.³³ Estos años en Italia fueron felices y productivos, y son de ésta época sus grabados de los paisajes italianos. En 1930 nació su segundo hijo, Arthur.

A pesar del poco interés de Escher en los temas políticos, el ambiente en 1935 en Italia se volvió inaceptable para él cuando su hijo mayor fue obligado a utilizar en la escuela el uniforme del ejército fascista.³⁴ Ante esto, la familia abandonó el país y se estableció en Suiza. Sin embargo, el clima y los paisajes no le presentaron la inspiración suficiente para seguir con sus trabajos, por lo cual, añorando la calidez del sur de Italia, realizó nuevamente una serie de viajes. En una ocasión se embarcó en un buque carguero, pagando su pasaje con una serie de grabados de los paisajes y retratos de la tripulación. En uno de esos viajes visitó por segunda ocasión España, y fue en la Alhambra donde se encontró con los mosaicos que copiaría y estudiaría con cuidado para volverse

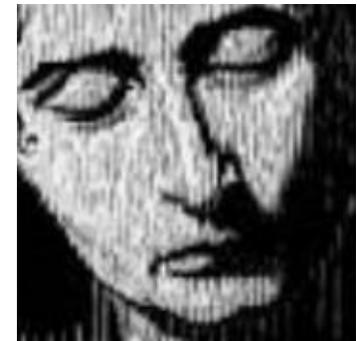


Imagen 2
Retrato de Jetta.

³² Ver imagen 2, p. 60

³³ Ziring

³⁴ Ernst, p. 11

una de sus influencias para algunos de sus trabajos más conocidos: aquéllos relacionados con la partición regular del plano y el uso de patrones que rellenan el espacio sin dejar huecos.³⁵ Como resultado de estos viajes también surgió su primer grabado sobre realidades imposibles, *Naturaleza muerta y calle*,³⁶ con el cual comenzó su expresión artística surgida de las imágenes de su mente, en vez de las observaciones directas de la naturaleza.

A mediados de 1937, Escher le mostró su primer trabajo sobre mosaicos a su hermano Beer, quien, siendo profesor de geología, quedó impresionado con el trabajo y sus posibles aplicaciones en cristalografía. A partir de entonces, Escher comenzó a experimentar con las particiones regulares del plano y con las aproximaciones al infinito.

Debido a la guerra y las invasiones nazis, en 1941 se mudó a Baarn (Países Bajos), donde de nuevo el mal clima no le permitió encontrar inspiración en los paisajes del lugar. La persecución de judíos afectó a Escher de manera personal cuando su viejo maestro de Mesquita fue capturado y asesinado en 1944. Al terminar la guerra, participó en una exposición en la que se mostró obra de artistas que se negaron a colaborar con el régimen Nazi, tras lo cual recibió considerables nuevos encargos.

A partir de entonces comenzó a vender su obra, lo cual le permitió vivir de su propia economía, ya que hasta entonces había dependido de sus padres. En ese tiempo realizó trabajos por encargo de diseños de sellos, portadas de libros, e incluso pequeñas esculturas en marfil y madera.

A partir de la década de los cincuenta comenzó a ser conocido en Estados Unidos debido a entrevistas que se publicaron en dos revistas: *Time* y *Life*. Así mismo, Escher comenzó a ganar fama como conferencista, era buscado tanto en audiencias artísticas, como científicas. En 1959, la profesora Caroline MacGillavry organizó una plática impartida por el artista sobre simetría en un congreso internacional sobre cristalografía en Inglaterra. En ese mismo año, Escher recibió copia de



Imagen 3
Mosaico formado por mariposas.



Imagen 4
Naturaleza Muerta y Calle.

³⁵ Ver imagen 3, p. 61

³⁶ Ver imagen 4, p. 62

un artículo de Roger Penrose donde se describían una serie de figuras imposibles, las cuales inspirarían su obra posterior.

Las conferencias en congresos de cristalografía continuaron en 1960, donde fue bien recibido y tratado como invitado de honor al ser el único artista. De esta forma formó amistad con profesores del MIT y otras universidades, quienes se volvieron buenos clientes de su obra. La fama continuó en el medio científico; sin embargo, en 1964 fue incapaz de dar sus pláticas en Norte América debido a una enfermedad.

En 1970 se trasladó a la Casa Rosa Spier de Laren, al norte de Holanda. En este lugar los artistas podían tener su propio estudio, y fue ahí donde aún siguió trabajando. Escher falleció en este lugar en marzo de 1972, a los 73 años de edad.

La obra de Escher

La obra de Escher es una de las referencias más citadas de arte relacionado con la ciencia debido al manejo de un lenguaje matemático para lograr sus figuras imposibles y sus particulares mosaicos. Así, Escher es apreciado por la comunidad científica que reconoce en su obra algunas referencias de temas científicos, usándola de ejemplo en diversas ocasiones.

Por otro lado, su obra también causa cierta fascinación al público general, una suerte de admiración y curiosidad para descifrar cómo el artista es capaz de encajar perfectamente dos figuras complejas (un pez y un ave, por ejemplo)³⁷, o bien para tratar de entender un mundo donde parece no existir sentido al haber escaleras que se dirigen hacia todas direcciones como en *Relatividad*.³⁸

A pesar de la innegable carga científica que ésta posee, hay que recordar que Escher es artista, cuyo interés no era el de producir imágenes científicas ni ejemplificar un lenguaje matemático, sino



Imagen 5
Mosaico formado por peces y aves.

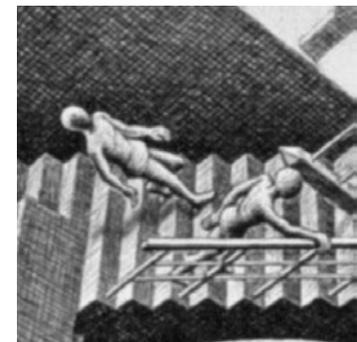


Imagen 6
Relatividad.

³⁷ Ver imagen 5, p. 63

³⁸ Ver imagen 6, p. 64

compartir la fascinación que a él mismo le causaba las posibilidades de dicho lenguaje. Su propósito era comunicar las imágenes que su mente creaba.

Su obra está compuesta de grabados en madera, litografías, mezzotintas y grabados en linóleo, además de apuntes, dibujos y borradores. Al final de su vida, el artista destruyó algunas planchas para que no se siguieran realizando impresiones originales. Su obra ha sido clasificada de distintas formas según los distintos elementos matemáticos que posee, o bien por épocas según la evolución del mismo artista de un tema al otro. Realizar este tipo de análisis no resulta sencillo, ya que a lo largo de los años los distintos temas aparecen en diferentes momentos de su vida, esto debido a que ocupaban la mente de Escher de manera simultánea³⁹ y poco a poco los iba resolviendo; sin embargo, sí es posible apreciar la forma en la que estos temas van cambiando y concretándose en distintas ideas.

De forma particular, aquí se realiza una clasificación según los temas en: perspectiva, sólidos geométricos, reflexiones en esferas, mosaicos, topología y figuras imposibles. A continuación se da una breve explicación de cada una de ellas.

Perspectiva (inicios)

Desde el inicio de su obra, Escher dominó la perspectiva con el manejo de puntos de fuga y líneas de horizonte (cenit y nadir), mostrando en ocasiones visiones de paisajes poco comunes, las cuales dan la sensación de espacios muy grandes o de edificios muy altos (por ejemplo, en *Torre de Babel*),⁴⁰ reflejando la majestuosidad que el artista encontraba en los paisajes retratados.

El juego con puntos de fuga que no pertenecen a la línea del horizonte en una misma imagen sería el tema de obras posteriores, las cuales representan algunos de los más conocidos juegos de ilusión óptica del artista.



Imagen 7
Torre de Babel.

³⁹ Ernst, p. 22

⁴⁰ Ver imagen 7, p. 65

Sólidos platónicos, arquimedeanos, etc.

La fascinación del artista por los sólidos platónicos (tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e icosaedro), quedó plasmada en varias de sus obras,⁴¹ e incluso en pequeñas esculturas y en diseños para cajas de galletas. Estas figuras aparecen en ocasiones entrelazadas y pareciendo crear planetas de formas extrañas.

Así mismo representa algunos sólidos arquimedeanos, los cuales son cuerpos convexos cuyas caras son polígonos regulares pero no todos del mismo tipo,⁴² así como algunos sólidos con picos en las caras.

Estas figuras parecen estar cerca de sus intereses en cristalografía, ya que de forma muy similar realizó algunas representaciones de cristales.⁴³ Sin embargo, su mayor acercamiento con este tema fue mediante la realización de sus divisiones regulares del plano y el uso de simetrías en ellas.

Reflexiones en esferas

En varias de sus obras, Escher representa esferas sobre las cuales se refleja alguna imagen.⁴⁴ El juego óptico que causa la imagen distorsionada le permitió un acercamiento con las geometrías no euclidianas, las cuales utilizaría posteriormente para generar imágenes imposibles y narrar historias dentro de sus grabados.

Además, el juego entre la imagen real y la imagen reflejada comienza a abrir el espacio para representar mundos imposibles y dualidades, dos de los principales intereses del artista.

Mosaicos

Los mosaicos, o teselaciones, fueron la primera aproximación del artista a un lenguaje matemático formal para crear su obra. Escher consideraba la división regular de un plano como su



Imagen 8
Estrellas.

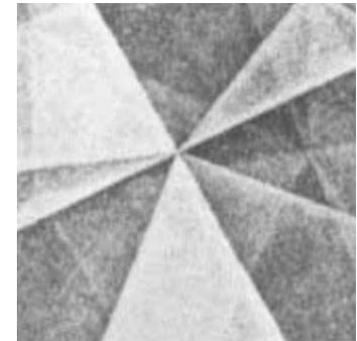


Imagen 9
Cristal.

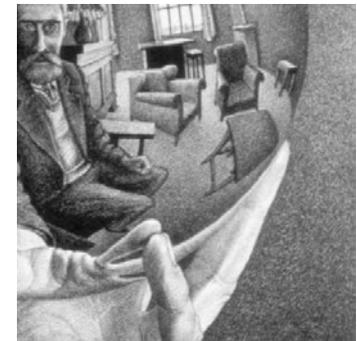


Imagen 10
Mano con Esfera Reflejante.

⁴¹ Ver imagen 8, p. 66

⁴² Ramírez-Galarza, "Tres miradas...", p. 239

⁴³ Ver imagen 9, p. 67

⁴⁴ Ver imagen 10, p. 68

fuerza más rica de inspiración, y tal vez dentro de este tema se encuentren sus obras más reconocidas por la gente.

Para la realización de estos trabajos fue necesario intuir nociones de simetría y región fundamental⁴⁵, de esta forma Escher desarrolló un lenguaje matemático propio con el que realizó series de bocetos y apuntes, lenguaje que al ir consultando poco a poco publicaciones especializadas, fue afinando en un lenguaje más formal.

Escher desarrolló mosaicos de distintas formas, creando maravillosos grabados que parecen contar historias al no permanecer la imagen estática (como sucede en sus llamadas *Metamorfosis*)⁴⁶, o bien rellenando espacios finitos para representar una de sus más grandes fascinaciones: el infinito.

Topología

Los nudos y las Bandas de Möbius aparecen en la obra tardía de Escher, esto una vez que mantiene comunicación con matemáticos. El artista parecía estar fascinado con las propiedades de estas figuras así como con su estética.⁴⁷

Imposibles

Los juegos de ilusión óptica parecen ser el tema recurrente en la obra de Escher. De esta forma, podemos encontrar que en esta clasificación entran obras muy variadas, que van desde figuras recursivas como las dos manos que se dibujan entre sí (*Manos dibujando*)⁴⁸, imágenes de situaciones imposibles, mosaicos que parecen cobrar vida y se vuelven figuras tridimensionales



Imagen 11
Metamorfosis II.

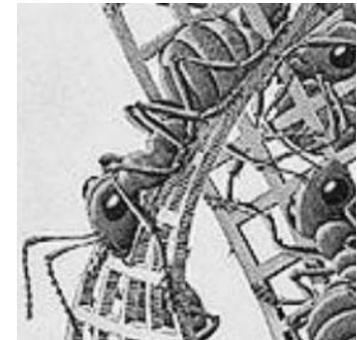


Imagen 12
Banda de Möbius II.



Imagen 13
Manos Dibujando.

⁴⁵ En un mosaico, la región fundamental es la pieza única o el bloque de piezas con las que se cubre por completo el plano.

⁴⁶ Ver imagen 11, pp. 69 – 71

⁴⁷ Ver imagen 12, p. 72

⁴⁸ Ver imagen 13, p. 73

(como sucede en *Reptiles*)⁴⁹, hasta la utilización del triángulo de Penrose para la representación de máquinas de movimiento perpetuo como lo logra en *Cascada*.⁵⁰

Tal vez sean este tipo de imágenes las que tengan un discurso más profundo respecto a la ciencia y el mundo observado.

El acervo completo de Escher incluye además obras paisajísticas, retratos y encargos especiales para cubiertas de libros y sellos, entre otros.

Si bien no en toda su obra se pueden encontrar referencias a la ciencia, algo innegable es su dominio de la técnica de grabado, la cual le ayuda a causar fascinación al espectador frente al discurso presentado. Es decir, el valor de la obra de Escher no sólo se encuentra en la forma en la que presenta el tema, sino en la maestría con la que lo hace.



Imagen 14
Reptiles.

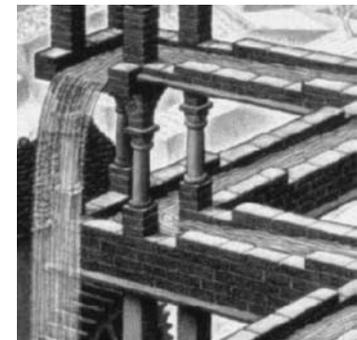


Imagen 15
Cascada.

⁴⁹ Ver imagen 14, p. 74

⁵⁰ Ver imagen 15, p. 75

Capítulo 3

La ciencia en la obra de Escher

Al momento de hacer divulgación sobre un tema científico es necesario dominar el tópico del cual se está hablando. Si bien no se requiere ser experto en el tema, el comprender, analizar, e incluso reflexionar acerca de ello ayuda a que la divulgación no sólo sea el pasar el mensaje de la voz del científico a la del público general, sino una traducción de calidad.

De esta forma, al hablar de Escher en términos de comunicación de la ciencia, es necesario hacer un breve análisis de dónde se encuentra dicha ciencia en su obra, así como a lo que esos conceptos científicos se refieren.

A pesar de ser difícil una separación clara de los temas científicos en la obra del artista, aquí se han separado en tres grandes clasificaciones:⁵¹ matemáticas, que representa el lenguaje general para los conceptos que Escher utiliza, cristalografía que es la aplicación en la materia de dichas matemáticas, e imposibles, en donde se puede encontrar el mensaje más profundo y la mayor intención de expresar reacciones por parte del artista.

⁵¹ Debido a que éste no es un espacio que deba profundizar en los conceptos científicos, sino en su divulgación, los temas aquí no son tratados con profundidad, sino que son un breve esbozo de lo que tratan.

Matemáticas

Las matemáticas son utilizadas como el lenguaje formal de las ciencias, utilizando símbolos y reglas similares a las de una gramática de cualquier otro lenguaje. A pesar de que los elementos con los que las matemáticas trabajan son abstractos, las ciencias naturales se basan en ellas para describir y deducir los fenómenos naturales.

Dentro de las matemáticas se encuentra la geometría, la cual se ocupa de las propiedades de las figuras, del plano y del espacio, siendo tal vez la rama de las matemáticas que tiene mayor acercamiento con las artes visuales.

Teselaciones

Una teselación es una partición del plano por figuras congruentes que cubren completamente una superficie plana cumpliendo con dos requisitos: por un lado que no queden huecos vacíos, y por otro que las figuras no se superpongan o traslapen.

En distintas culturas se pueden encontrar diseños decorativos que cumplen estas restricciones, adornando muros en catedrales o palacios, o bien en vasijas y vasos. Así, desde los antiguos egipcios se pueden encontrar ejemplos de este tipo de patrones geométricos.

Al analizar este tipo de adornos, se puede observar que las figuras geométricas utilizadas son cuadrados, hexágonos, rombos y triángulos, las cuales, al moverlas de posición mediante reglas matemáticas, forman el diseño final. Los únicos polígonos regulares (figuras geométricas cuyos ángulos y lados son iguales) con la que se puede cubrir una superficie plana son el triángulo equilátero, el cuadrado y el hexágono; esto es debido a que la unión en cada vértice debe sumar 360° para que no queden espacios.⁵²

⁵² Hidalgo, p. 11

Sin embargo, existen las teselaciones semi-regulares, las cuales se pueden formar por dos o más polígonos regulares, manteniendo la condición de que en cada vértice el arreglo de éstos sea idéntico. Así mismo existen las teselaciones no regulares, las cuales están formadas por polígonos no regulares (como el rectángulo, triángulos no equiláteros o pentágonos no regulares) e incluso polígonos cóncavos.

A partir de movimientos en el plano es que se pueden formar diversos diseños, estos movimientos son de traslación, rotación y reflexión,⁵³ formando con ellas grupos de simetrías.

Por otro lado, también existen patrones autocontenidos que logran cubrir un plano de forma cuasiperiódica. Éste es el caso de los mosaicos de Penrose, los cuales serán discutidos más adelante con mayor profundidad.

Infinito y geometrías no euclidianas

El concepto de infinito aparece en varias ramas de las matemáticas, como en geometría y en los números (ordinales y cardinales) dentro de la teoría de conjuntos. En todos los casos denota que el objeto en cuestión no es finito en algún aspecto.

Por su parte, se denomina geometría no euclidiana⁵⁴ a cualquier forma de geometría cuyos postulados y propiedades difieren en algún punto de los establecidos por Euclides en su tratado *Elementos*, en el cual recopiló, ordenó y propuso un método de validación de todos los conocimientos físicos y geométricos que hasta su época (alrededor del año 300 a.C.) se habían generado.⁵⁵

Los desarrollos de geometrías no euclidianas se gestaron en sus comienzos con el objetivo de construir modelos explícitos en los que no se cumpliera el quinto postulado de Euclides, el cual

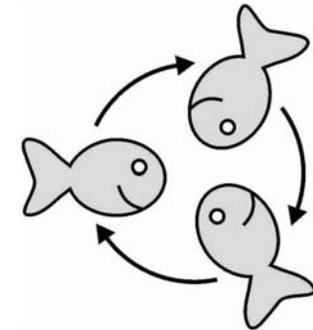


Imagen 16
Ejemplo de eje de rotación ternario.

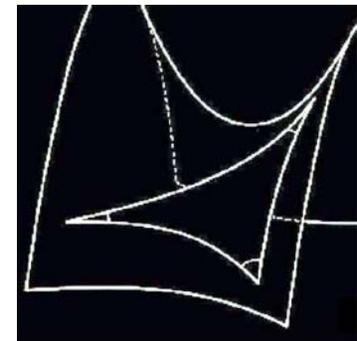


Imagen 17
Dibujo que ejemplifica la geometría hiperbólica.

⁵³ Ver imagen 16, p. 76

⁵⁴ Ver imagen 17, p. 77

⁵⁵ Ramírez-Galarza, *Introducción...*, p. 5

introduce el concepto de paralelismo que si bien perduró hasta el siglo XIX, desde su formulación generó discusiones y representó uno de los problemas matemáticos en geometría al intuirse la construcción de geometrías distintas a ésta. El mismo Euclides sabía que este postulado era de carácter especial (su formulación es más complicada que la de los otros cuatro postulados), e incluso, evitó utilizarlo en la deducción de las primeras veintiocho proposiciones de los *Elementos*.⁵⁶

El primer ejemplo de geometría no euclidiana fue la hiperbólica, ideada independientemente por varios autores a principios del siglo XIX.

Las matemáticas de Escher

El acercamiento de Escher a las matemáticas se debió a su fascinación por los mosaicos moriscos de la Alhambra. En su segundo viaje a España, dedicó varias horas a copiar estos diseños, los cuales posteriormente repetiría en sus cuadernos de apuntes.⁵⁷

Después de esto, la idea de hacer un diseño propio culminó en lo que sería su primer mosaico. A pesar de su esfuerzo, esta obra no tendría demasiado éxito. No obstante, Escher continuó pensando en crear este tipo de figuras, ya que le generaba cierto placer, como si se tratase de un juego.

Su hermano, quien como ya se mencionó, era profesor de geología, fue quien lo acercó a textos científicos de matemáticas y cristalografía. En esa época, los principios de la cristalografía se estaban apenas determinando, por lo que resulta difícil separar cuándo se trata de cristalografía y cuándo de matemáticas puras, es decir, los principios de la cristalografía, como se mencionará posteriormente, se basan en transformaciones espaciales mediante un lenguaje matemático. Así, se puede ver a los cristales como si se tratasen de mosaicos tridimensionales.

Entre los artículos que su hermano le dio a leer, Escher se encontró con uno de Polya.⁵⁸ Si bien este matemático no fue el único ni el primero en clasificar los grupos de simetría, en este artículo en

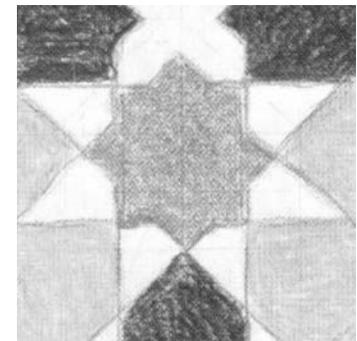


Imagen 18
Apuntes tomados en la
Alhambra.

⁵⁶ Ramírez-Galarza, *Invitación...*, p. 12

⁵⁷ Ver imagen 18, p. 78

particular se incluyó una ilustración⁵⁹ ejemplificando cada uno de dichos grupos. De ella el mismo Polyá estaba orgulloso.

Escher copió repetidamente esta imagen, comprendiendo el concepto al compartir el mismo lenguaje de figuras geométricas que el matemático. Sin embargo, la parte del desarrollo matemático se le escapaba, ya que para él su juego de formar mosaicos lo hacía "... sin saber de cristalografía y por lo tanto sin saber que su juego tenía reglas científicas".⁶⁰ Así, tuvo un acercamiento a la ciencia de forma intuitiva, entendiendo la información visual e interpretándola para sus propios fines. Con esto, Escher crea su propio sistema de clasificación y notación, el cual poco a poco se acerca más al científico al ir leyendo y conociendo más el lenguaje matemático, ya que para resolver sus inquietudes estéticas le era necesario comprender aquel lenguaje científico.

Su hermano lo mantuvo en contacto con la ciencia. Además de los textos científicos, fue quien le proporcionó los contactos con algunos matemáticos, entre ellos el mismo Polyá, con quien Escher mantuvo correspondencia y aclaró dudas.

Su forma de realizar mosaicos consistía en dibujar una figura geométrica que por si sola teselara el plano, como un paralelogramo o un triángulo., luego le iba sacando partes de un lado, para después ponerlas en el lado contrario. Esto lo repetía varias veces colocándolas de modo que encajaran perfectamente, utilizando las transformaciones isométricas (traslación, rotación y reflexión). Así, los mosaicos moriscos le proporcionaron el esqueleto geométrico para después transformar la imagen en animales y otras figuras.⁶¹

En palabras del artista:

La división regular del plano en figuras congruentes que evoquen en el observador una asociación con un objeto familiar, es uno de esos problemas o hobbies que generan pasión. He trabajado en este problema geométrico multitud de veces a lo largo de los años, intentando resolver distintos aspectos cada vez. No puedo imaginar lo

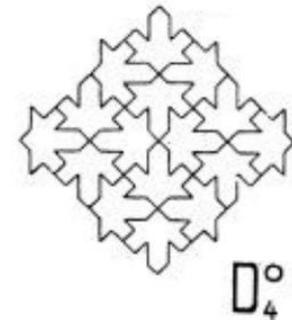


Imagen 19
Ilustración del artículo de Pólya.

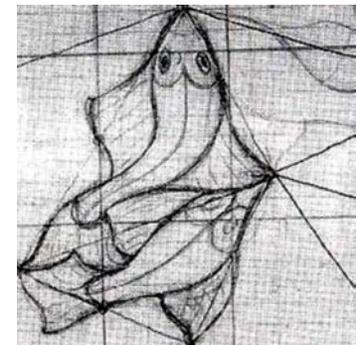


Imagen 20
Apuntes para mosaico.

⁵⁸ Schattschneider, "The Polyá-Escher connection" p. 293

⁵⁹ Ver imagen 19, p. 79

⁶⁰ Schattschneider, "The Polyá-Escher connection" p. 295

⁶¹ Ver imagen 20, p. 80

que mi vida hubiera sido si no hubiera encontrado nunca este problema; se puede decir que estoy locamente enamorado de él, y sigo sin saber por qué.⁶²

Hubo otros matemáticos que igualmente influyeron directamente en Escher y con los cuales intercambió correspondencia. Al irse desarrollando sus intereses, le fue necesario explicarse las reglas de las imágenes que observaba.

Posterior a sus mosaicos simples, su interés por representar el infinito en un plano lo llevó a la creación de una serie de grabados, en los que primero fue reduciendo el tamaño de las figuras hacia el centro de la imagen. Escher no quedó conforme con estas obras, ya que consideraba que el infinito no quedaba representado al tener, por un lado, un límite arbitrario fijado hacia el exterior del dibujo, y por otro, al no poder seguir haciendo figuras más pequeñas hacia el centro de la imagen.⁶³ En un artículo de Coxeter⁶⁴ fue que vio el disco de la geometría hiperbólica de Poincaré,⁶⁵ en la cual pudo apreciar el efecto de tener justo lo contrario: figuras cada vez más pequeñas según se alejan de forma radial del centro del círculo, de forma que parece no existir un límite real al imaginarse las figuras que deben continuar. Así, sus interpretaciones de la figura lo llevaron a crear *Límite Circular I*,⁶⁶ la cual tampoco sería de su completo agrado.

Escher mostró su grabado a su hermano, a quien le pidió ayuda para comprender el diagrama de Poincaré. Esta vez la correspondencia sería con el mismo Coxeter, y el resultado culminaría en una de sus mejores obras, *Límite Circular III*,⁶⁷ de la cual el mismo artista estaba sumamente orgulloso.

Su comunicación con matemáticos también incluyó a Roger Penrose, del cual leyó su artículo que mostraba y explicaba la formación del triángulo imposible. Las interpretaciones de Escher de esta figura fueron llevadas a la creación aparente de máquinas de movimiento perpetuo y algunas de sus más famosas imágenes de mundos imposibles.

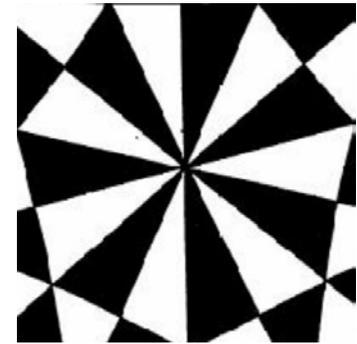


Imagen 21
Disco de Poincaré para la geometría hiperbólica.



Imagen 22
Límite Circular I.



Imagen 23
Límite Circular III.

⁶² Hidalgo, p. 132

⁶³ Ziring

⁶⁴ Ziring

⁶⁵ Ver imagen 21, p. 81

⁶⁶ Ver imagen 22, p. 82

⁶⁷ Ver imagen 23, p. 83

Cristalografía

La materia se encuentra formada de átomos que se agregan en moléculas y compuestos químicos. Las interacciones entre átomos forman enlaces que, debido a sus condiciones químicas y físicas, determinan ciertas estructuras espaciales.

Los átomos se encuentran en constante movimiento debido a la energía que poseen, según esta cantidad de energía las estructuras formadas serán más o menos ordenadas. Así, si se tienen átomos con mucho movimiento, la materia no estará ordenada y se tendrá un estado gaseoso donde las interacciones entre átomos y moléculas son bajas. Un estado de energía intermedia corresponde a un líquido donde las interacciones comienzan a ser mayores, y uno de menor energía corresponde a una mayor ordenación y se tiene un estado sólido. Sin embargo, no todos los sólidos presentan un orden regular en su estructura. Así los sólidos se clasifican en cristalinos, es decir los que se encuentran ordenados, y no cristalinos o amorfos, que son los que no presentan orden de traslación.

La cristalografía es la ciencia que se dedica al estudio del crecimiento, forma y geometría de los cristales.⁶⁸

Cristales y cuasicristales

Un cristal⁶⁹ es un cuerpo de naturaleza química definida con orden interior de traslación.⁷⁰ Esto es, un cristal tiene una estructura interna definida y ordenada, la cual se puede ver como un patrón que se repite al trasladarlo en las tres direcciones del espacio, o bien, como un apilamiento, en tres dimensiones, de bloques idénticos.

⁶⁸ Fabregat, p. 10

⁶⁹ El término “cristal” corresponde a un modelo de descripción de la materia, y no debe ser confundido con lo que comúnmente se conoce por cristal o vidrio.

⁷⁰ Fabregat, p. 11

Los átomos de un cristal se encuentran en constante movimiento alrededor de una posición de equilibrio, mientras que las distancias a la que se encuentran separados son determinadas por el tipo de átomos que lo conforman, los cuales también determinan las posiciones de los átomos vecinos. Así se crean los patrones, y conforme el cristal aumenta de tamaño, las nuevas capas de átomos se depositan siguiendo dicho patrón. El conjunto que se repite por traslación ordenada, generando todo el cristal, es conocido como celda elemental ó celda unitaria.⁷¹

Las celdas unitarias de los cristales presentan elementos de simetría (ejes de simetría, ejes de inversión, planos y centros de simetría), que no son más que movimientos o transformaciones matemáticas que cuando se aplican a los átomos o moléculas de un cristal, lo dejan invariante, es decir, con la misma apariencia que tenía antes de la transformación.⁷² Estos elementos en conjunto definen la simetría total del objeto y son utilizados para la descripción y clasificación del cristal. A pesar de que los grupos de simetría son muchos, éstos tienen que ser compatibles con la periodicidad (repetitividad por traslación) que describe al cristal internamente, es decir, se trata de un mosaico tridimensional, el cual tiene que cumplir la regla de llenar el espacio sin dejar huecos ni generar traslapes. De esta forma, sólo se tienen 32 posibles grupos de simetría, los cuales a su vez son reagrupados por la forma básica que presentan en 7 sistemas cristalinos (cúbico, tetragonal, hexagonal, trigonal o romboédrico, rómbico, monoclinico y triclinico).⁷³ Estos 7 sistemas representan la base de coordenadas utilizadas para describir al cristal.

El estado cristalino de la materia es el de mayor orden,⁷⁴ el cual también corresponde al de menor energía, por lo cual, es el que se encuentra de forma más favorable en la naturaleza. Cuando un compuesto pasa, en condiciones adecuadas, de un estado líquido o gaseoso a sólido, cristaliza.

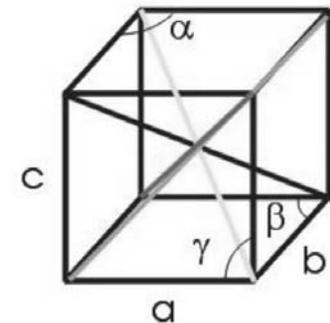


Imagen 24
Representación del sistema
cúbico.

⁷¹ Fabregat, p. 23

⁷² Romeu Casajuana

⁷³ Ver imagen 24, p. 84

⁷⁴ Flint, p. 7

El estudio de los cristales se generó al observar que algunos materiales se rompían manteniendo su forma geométrica, esto debido a que dicha forma es una manifestación externa de la estructura interior. Estas observaciones llevaron a las reglas básicas de la cristalografía.

Sin embargo, en 1984 investigadores del National Bureau of Standards en los Estados Unidos⁷⁵ encontraron un nuevo material que, contrariamente a las reglas descritas anteriormente, parecía contener elementos de simetría considerados imposibles. Se trataba de una aleación metálica (aluminio y manganeso) enfriada rápidamente, la cual a pesar de tener orden de largo alcance, presentaba varios ejes de simetría quinarios.⁷⁶

Las primeras reacciones en el mundo científico fueron de incredulidad y rechazo; sin embargo, se demostró que se encontraban frente a una nueva forma de agregación de la materia.

Aunque su estructura en detalle y algunas de sus propiedades aún se encuentran en estudio y controversia, con el tiempo se hizo evidente que este nuevo estado estructural de la materia constituía un estado de orden intermedio entre los cristales y los amorfos. Debido a que este tipo de orden intermedio resultó ser cuasiperiódico, los nuevos materiales fueron denominados cuasicristales.

Años más tarde se reportaron otros cuasicristales con simetrías prohibidas de diez, ocho y doce. Así mismo se han generado cuasicristales que, a pesar de no romper con las simetrías permitidas, presentan orden únicamente de largo alcance.

El problema de la existencia de orden traslacional, y a la vez estas simetrías, puede resolverse si se aplica una condición de orden traslacional más débil que el orden periódico de los cristales.⁷⁷ Esto resulta coherente con el llamado mosaico de Penrose,⁷⁸ el cual es una estructura que usando rombos de dos tamaños distintos permite llenar el espacio, presentando en sus propiedades orden

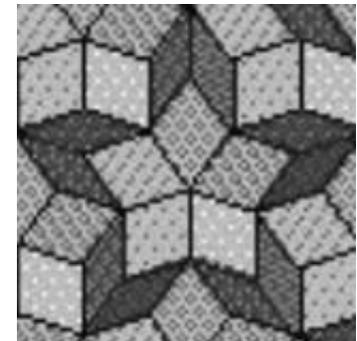


Imagen 25
Mosaico de Penrose.

⁷⁵ Romeu Casajuana

⁷⁶ Los ejes quinarios equivalen a pentágonos teselando el plano, lo cual es imposible hacer con pentágonos regulares; por esto, en cristalografía representa una simetría no permitida.

⁷⁷ Tagüeña, p. 130

⁷⁸ Ver imagen 25, p. 85

traslacional de largo alcance y ejes de rotación quinarios. El tipo de orden traslacional presente en él se conoce como orden cuasiperiódico. Una de las propiedades interesantes de este tipo de orden es su autosemejanza, es decir, aunque no existe un orden periódico, la figura parece autocontenerse manteniendo la misma estructura.

Conceptos de cristalografía en la obra de Escher

Los trabajos de Escher fueron conocidos por la comunidad científica cuando se expuso su obra de manera simultánea a un congreso matemático en Ámsterdam.⁷⁹ A partir de entonces fue invitado a dar pláticas sobre simetría en varios congresos especializados, siendo generalmente el invitado de honor al ser el único artista de dichos congresos.

El acercamiento de Escher hacia el tema científico se desarrolló de forma similar al de la misma cristalografía. Al observar las imágenes de mosaicos y de los grupos de simetría, su interés artístico lo llevó a agregar elementos como color; de forma que no solo copió y estudió los grupos de simetrías, sino que de ellos aprendió la parte espacial y fueron sus intereses los que lo llevarían a generar además figuras coloreadas simétricamente, o bien, por el contrario, a romper la simetría al usar colores distintos⁸⁰.

Así, aunque se contemplaban estas posibilidades desde el punto de vista matemático, la bibliografía al respecto no era muy amplia. Sin embargo, lo que Escher parecía estar descubriendo para sí mismo era el concepto de base o motivo para ser repetido dentro de una red. Es decir, seguía los mismos principios de la cristalografía, donde no sólo se describen las redes básicas, sino que es necesario decir qué son y de qué forma se encuentran organizados los elementos que van a repetirse dentro de dicha red.



Imagen 26
Mosaico formado por cuatro animales distintos.

⁷⁹ Ziring

⁸⁰ Ver imagen 3, p. 61

Asimismo, muchos de los mosaicos de Escher se encuentran formados por dos o más figuras distintas, pudiendo encontrar por ejemplo varios animales⁸¹, o ángeles y demonios que encajan perfectamente.⁸² Esto, además de las connotaciones no científicas, es una aproximación de los llamados cuasicristales, donde, de nueva cuenta, se tiene periodicidad a largo alcance, es decir, no con la figura inmediata, no obstante mantienen un patrón repetido a diferencia del mosaico de Penrose. Si bien la obra de Escher no inspiró la búsqueda de estos materiales, las implicaciones de su obra en la materia corresponden precisamente a la situación en la que se tienen dos tipos de estructura y la posibilidad de tener simetrías de órdenes distintos que repitiendo una sola figura regular no es posible tener.

Imposibles

Las figuras imposibles y los juegos de ilusión óptica parecen generar una fascinación al crear mundos extraños. Para su construcción, muchas de estas figuras se basan en principios matemáticos o de perspectiva, que al combinarse, cosa que naturalmente no sucede, crean imágenes sorprendentes.

Figuras imposibles

Las figuras imposibles son una serie de objetos que, si bien pueden ser dibujados, no pueden construirse en el mundo material. Los más conocidos son una jaula, un triángulo y unas escaleras,⁸³ estos últimos se le atribuyen al matemático Roger Penrose.

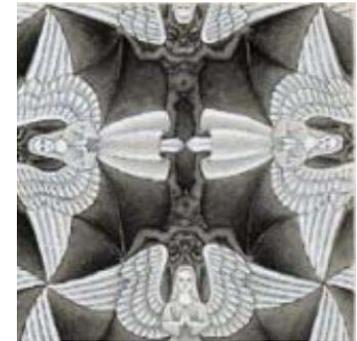


Imagen 27
Mosaico formado por ángeles y demonios.

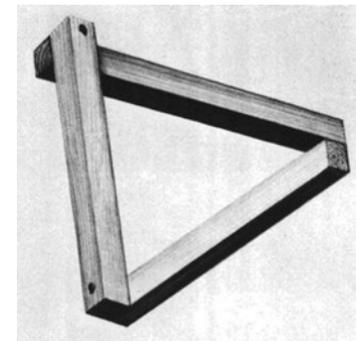


Imagen 28
Triángulo de Penrose.

⁸¹ Ver imagen 26, p. 86

⁸² Ver imagen 27, p. 87

⁸³ Ver imagen 28, p. 88

El triángulo de Penrose es en apariencia un objeto sólido, formado por tres rayos rectos de sección cuadrada que se encuentran unidos formando ángulos rectos en los extremos del triángulo que conforman. Esta es una combinación de propiedades que no pueden ser satisfechas por un objeto tridimensional. Pese a esto, existen objetos tridimensionales que si son observados desde la perspectiva adecuada, aparentan poseer dichas propiedades. Como derivación de esta figura surgen las escaleras que en apariencia son infinitas, las cuales utilizó Escher directamente en su obra.

Así mismo, la jaula imposible presenta un juego de ilusión óptica, ya que se trata de una figura que, derivada de dibujar las líneas de un cubo sin perspectiva, permite tener la figura como si fuera vista desde arriba o desde abajo. Esta figura también puede ser simulada por objetos tridimensionales que en realidad no están cerrados.

Los mundos imposibles de Escher

Además de los intereses de Escher por los temas científicos, la creación de mundos imposibles fue un tema recurrente en su obra.

Si bien no tuvo contacto con los artistas surrealistas de su tiempo, se pueden encontrar algunas similitudes en algunas de sus obras. Esto es, Escher responde a los intereses y cuestionamientos de su época, no sólo de forma científica, sino también artística.

Estas imágenes extraordinarias parecen venir desde sus primeros grabados, en los cuales las perspectivas exageradas dan la impresión de espacios mucho más grandes e incluso vertiginosos. De forma curiosa, los estudios sobre perspectiva en el Renacimiento fueron una de las bases del estudio de las geometrías no euclidianas, ya que en aquella época había una preocupación por representar fielmente los objetos tridimensionales en un plano,⁸⁴ estos estudios en el arte después pasarían a las matemáticas formalizándose.⁸⁵ En su obra, Escher usó el juego de perspectivas al

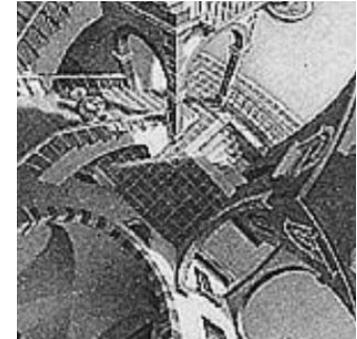


Imagen 29
Arriba y Abajo.

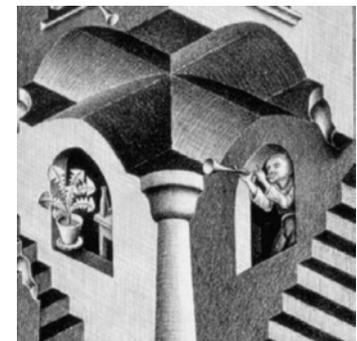


Imagen 30
Cónvavo y Convexo.

⁸⁴ Ramírez-Galarza, *Invitación...*, p. 2

⁸⁵ Ramírez-Galarza, *Invitación...*, p. 32

combinar puntos de vista simultáneos para crear espacios imposibles, como resulta en *Arriba y abajo*.⁸⁶

El interés del artista por hacer ilusiones ópticas parece venir de los trampantojos que desde la antigua Grecia se utilizaban: imágenes que dan la impresión de tener volumen como si se tratase de un relieve en la pared. Así Escher juega con la representación de concavidades para mostrar figuras que, dependiendo del punto de vista, parecen ser cóncavas o convexas.⁸⁷ Su interés, en algunas de ellas, es cuestionarse lo que se ve y se da por hecho como realidad, mostrando que las imágenes creadas no son más que eso, imágenes o representaciones de la realidad, mas no la realidad misma.

A este respecto el dibujo parece ser una forma de “decepción”, ya que existe una tensión entre las representaciones de objetos tridimensionales en un plano bidimensional.⁸⁸ Esta discusión parece ser perfectamente entendida por Escher, cuya mejor representación se encuentra en *Manos dibujando*.⁸⁹ De esta forma, se permite jugar con situaciones que no son posibles y crear mundos extraordinarios.

Uno de sus primeros intereses son las figuras reflejadas en esferas y espejos. Estas imágenes no reales son lo más cercano que tenemos para, de forma práctica, crear mundos parecidos a los suyos, ya que al reflejar objetos reales puede incluso transformar la misma realidad. Así, al ir conociendo además un lenguaje matemático que lo ayudó a la creación de su obra, utiliza estos elementos científicos para representar igualmente estos imposibles.

Estos mundos imposibles también tienen referencia a los infinitos y los ciclos. Una de sus mejores obras, *Galería de grabados*,⁹⁰ recurre a deformaciones progresivas para transformar el espacio y representar un mundo recursivo, en el cual un visitante de una galería observa un grabado

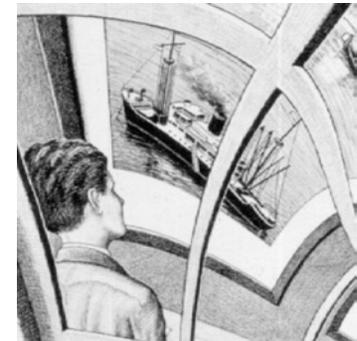


Imagen 31
Galería de Grabados.

⁸⁶ Ver imagen 29, p. 89

⁸⁷ Ver imagen 30, p. 90

⁸⁸ Ernst, p. 26

⁸⁹ Ver imagen 13, p. 73

⁹⁰ Ver imagen 31, p. 91

donde se puede apreciar el mundo exterior incluyendo a la misma galería con el personaje dentro. Sobre esta obra Escher opinaba que había alcanzado su mayor logro en representar su imaginación en forma de imagen.⁹¹

⁹¹ Ernst, p. 23

El mensaje científico de la obra de Escher

Además de los elementos científicos, en la obra de Escher se encuentra un mensaje. Hablar de él resulta un tanto difícil,⁹² aún más cuando el mismo artista consideraba que sus grabados sólo satisfacían su interés por crear lo que él consideraba juegos de imágenes.

Ante las interpretaciones, unas que resultan absurdas y otras un tanto acertadas, el mismo Escher escribió un libro explicando su obra y su intención al hacerla. Sin embargo, el texto que acompaña a las imágenes es descriptivo e incluso obvio,⁹³ por lo que no resulta de utilidad al querer comprender la verdadera intención del artista. Esto no significa que Escher se guardara como secreto sus ideas, sino que debido a su carácter introvertido e incluso contradictorio, su libro no es el mejor espacio para conocer lo que el artista pensaba. No obstante, es en sus cartas y declaraciones en entrevistas donde se puede apreciar una reflexión profunda acerca de los temas que trata, y no sólo un texto descriptivo sobre su propia obra.

⁹² Así como los conceptos científicos no son el tema central de este trabajo, tampoco lo es un análisis profundo desde el punto de vista únicamente del arte. Sin embargo, se mencionan algunas consideraciones a este respecto debido a que es imposible separar la parte artística de la científica en la obra de cualquier artista que las incluya.

⁹³ Ernst, p. 14

Así, uno de los principales intereses parece ser el cuestionamiento de lo que se ve y lo que existe en realidad. Sus continuos juegos de ilusión óptica, además de presentar mundos imposibles, abren la puerta al cuestionamiento de conceptos como dirección en el espacio, puntos de vista, etc. De esta forma las cosas *son* sin importar la perspectiva desde donde se las ve, o por el contrario, la imagen mostrada no representa a un objeto real.

Es así que juega con imágenes que salen del plano para dar la ilusión de tener volumen, pero con la advertencia de que ello no puede ser, como ocurre con las dos manos que se dibujan entre sí. Un ejemplo muy interesante se encuentra en *Tres esferas*.⁹⁴ En esta obra se aprecian tres figuras que parecen tener volumen: una esfera, una sección esférica con tapa y una elipse como si se tratara de una tercera esfera aplastada.⁹⁵ Sin embargo, lo que Escher realmente pretende mostrar es que se trata de tres discos planos, ya que en realidad la imagen es plana en su totalidad (se le está viendo en un dibujo, el cual únicamente es bidimensional). A este respecto el mismo artista diría:

Ahora, ¿no es ésa una magnífica esfera en la cima?, ¡error!, Te encuentras por completo equivocado, ¡es completamente plana! [...] Únicamente por complacerte pasa el dedo por la superficie del papel, y siente lo plano que realmente es.⁹⁶

Este cuestionamiento de lo que parece ser la realidad y su representación⁹⁷ lo clasifica cerca de los artistas surrealistas. Si bien no tuvo comunicación con ninguno de ellos, las situaciones imposibles y sus consecuencias lo ubican bajo la misma intención de presentar situaciones ante la gente que sin duda generan una meditación sobre la imagen y lo que en ella se percibe. Esta reflexión resulta de gran valor al comunicar algunos conceptos científicos, y sobre todo, al permitir al espectador participación y diálogo con el mensaje transmitido. Es por esto que el artista Albert

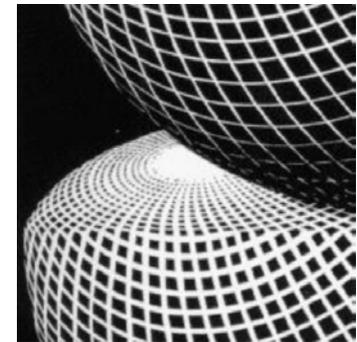


Imagen 32
Tres Esferas I.

⁹⁴ Ver imagen 32, p. 92

⁹⁵ Ernst, pp. 27 – 28

⁹⁶ Ernst, p. 6

⁹⁷ Desde la filosofía Feyerabend también discute el tema sobre el considerar la pintura realista como más cercana a la realidad: “Es esta falsa impresión aquello sobre lo que se funda la pintura perspectivística y, por esto, de ningún modo es un paso hacia una representación más realista, a no ser que se suponga que la realidad en su totalidad está constituida por aspectos”. [Feyerabend, “Ciencia como arte”, pp. 192]

Flocon realizó una crítica de su obra mencionando: "... su trabajo nos enseña que el surrealismo más perfecto se encuentra latente en la realidad".⁹⁸ De igual forma, ha sido comparado con algunos cuadros de Magritte.

El mantener una comunicación con el observador era importante para Escher, de forma que quería compartir la pasión que estos juegos y el lenguaje matemático le causaban. El efecto de sus interpretaciones al disco de Poincaré produjo una serie de sus mejores obras, culminando en *Límite Circular III*,⁹⁹ en la cual el artista encontraba una gran belleza, teniendo además la preocupación de que los demás también la percibieran.¹⁰⁰ Es decir, el logro de una de sus mejores obras no sólo fue para satisfacer una curiosidad personal, sino que existía en él el interés por mostrárselo y compartirlo con más gente.

Los mosaicos consistían para él una especie de adicción. Su fascinación al observar los diseños moriscos lo llevaron a crear sus propios mosaicos. No obstante el dibujar animales y, en sus palabras, "... figuras que la gente reconozca",¹⁰¹ no sólo ayuda a la estética del dibujo, sino que acerca a las personas a los conceptos abstractos.¹⁰²

Esto resulta valioso al divulgar matemáticas, donde las figuras geométricas y los números son abstracciones que no se pueden encontrar en el mundo real. De esta forma, la dependencia entre dos figuras al llenar un espacio parece hablar de una interdependencia de ambas, donde sin una no puede existir la otra. Cuando estas figuras son representaciones de seres vivos, el mensaje parece

⁹⁸ Ernst, p. 25

⁹⁹ Ver imagen 23, p. 83

¹⁰⁰ Ziring

¹⁰¹ Ernst, p. 25

¹⁰² La abstracción de hechos en la ciencia en un lenguaje matemático ha llevado a que los objetos poco a poco se pierdan, es decir, al quedar expresados únicamente por fórmulas es difícil saber a lo que se refieren los postulados científicos si no se hace explícito su referente a la realidad. Así por ejemplo, el llamado arte de datos es capaz de tomar datos abstractos para representarlos de formas distintas y con ello lograr un acercamiento emocional a la representación perdida. De esta forma, el arte moderno tiene implicaciones *pedagógicas* al poner al espectador ante algo que de otra forma no se vería, no porque sea la única forma de representarlo, sino por la emoción que dicha representación provoca. Así, la representación elegida por el artista trae consigo fuertes compromisos epistemológicos, de los cuales debe estar consciente. [Sardón]

ser más fuerte que cuando son figuras geométricas que no tienen consecuencia ni significado en el mundo real.

De igual forma, dentro de la cristalografía resulta complicado imaginar la estructura de la materia formada por átomos, ya que el referente de lo que es un *átomo* es una abstracción de la cual se tiene únicamente un concepto divulgado entre la gente. Sin embargo, los átomos no son visibles a simple vista y están lejos de ser un referente a la vida diaria de las personas. De esta forma, el uso de imágenes reconocibles ayuda a la comprensión del concepto abstracto.

De forma similar, la representación de máquinas de movimiento perpetuo parece acercar a la cotidianidad los conceptos abstractos, con lo cual es más fácil su entendimiento. Así Escher no sólo describe las figuras imposibles como el triángulo de Penrose, sino que explica en una imagen las consecuencias absurdas que estas figuras tendrían, con lo cual nos queda más que claro que son situaciones imposibles para el mundo real. Con ello, de nuevo abre las puertas para la reflexión sobre estos temas, además de la simple presentación del concepto matemático.

Ejemplos del uso de la obra de Escher para la comunicación de la ciencia

Como ya se dijo, la obra de Escher es continuamente citada al hablar de *arte científico*, o bien, para ejemplificar la belleza que se puede encontrar en algunos conceptos matemáticos. Así, es utilizada en libros, conferencias,¹⁰³ carteles y otros espacios al momento de hablar de ciencia. Incluso, como se mencionó anteriormente, el mismo Escher impartió pláticas y conferencias científicas utilizando su propia obra como referencia, lo cual puede considerarse como un antecedente directo del uso de su obra como herramienta para transmitir el conocimiento científico.



Imagen 33
Roger Penrose explicando un grabado de Escher.

¹⁰³ Ver imagen 33, p. 93

Entre los ejemplos se encuentra la Sala de Energía del Museo Universum de la UNAM, donde se ejemplificó las máquinas de movimiento perpetuo con la imagen del grabado *Cascada*.¹⁰⁴ Por su parte, el libro *Mosaicos* de Laura Hidalgo, creado como introducción al tema de teselaciones para jóvenes de preparatoria, tiene un pequeño capítulo destinado a la obra de Escher en este tema. Así mismo, el libro de texto gratuito de matemáticas de quinto grado de primaria tiene un espacio dedicado a hablar de mosaicos para interesar a los niños en las aplicaciones estéticas de las figuras geométricas; en este espacio nuevamente se menciona a Escher. Como estos libros existen muchos otros que usan sus dibujos para ejemplificar y enseñar el uso de las transformaciones geométricas, o bien, como metáfora de un fenómeno físico, como resultan algunas de sus *metamorfosis* para representar el crecimiento de cristales.¹⁰⁵

Tal vez el ejemplo más significativo se encuentra en uno de los libros clásicos de la divulgación científica. Se trata de *Gödel, Escher, Bach: una eterna trenza dorada* de Douglas R. Hofstadter, donde el autor hace referencia a la obra de Escher al analizar elementos y conceptos como bucles, recursividad, canon, etc., los cuales encuentra de forma recurrente en ella. En estos conceptos, se suele llevar al espectador a través de un continuo de imágenes que al final regresan a su punto de partida. Así, Hofstadter utiliza la obra de Escher para ilustrar este tipo de conceptos abstractos.

Sin embargo, la obra de Escher no sólo es usada porque ejemplifique bien estos conceptos matemáticos o porque se busque enganchar al público mediante imágenes estéticas, sino porque las imágenes cotidianas y sencillas permiten un mayor acercamiento de las personas hacia el tema. Esta característica de su obra es lo que resulta de gran valor en la comunicación científica, la cual busca referentes de este tipo para interactuar con su público.

¹⁰⁴ Sánchez, p. 57

¹⁰⁵ Schattschneider, D. *Visions of symmetry...* pp. 274 – 277

Modelos de divulgación científica

La divulgación de la ciencia es una actividad interdisciplinaria. En ella participan científicos, periodistas, museólogos, sociólogos, literatos, filósofos, etc. De esta forma, no sólo es un espacio donde hay diversos puntos de vista que se adecuan a las distintas situaciones y propósitos particulares, sino que estos puntos de vista deben ser tomados en cuenta y discutidos. Así, además del aspecto práctico, es necesaria la teoría sobre la forma de hacer divulgación y el análisis de cómo se encuentra actualmente con respecto a las demás actividades sociales.

A este respecto se ha hablado de distintos modelos de comunicación, ya que como ocurre con las demás actividades, existen corrientes y programas a los cuales los comunicadores se suscriben, ya sea de forma consciente o no.

Durante mucho tiempo se entendió a la comunicación científica bajo el llamado “modelo de déficit”, el cual se refiere a la visión de transmitir el conocimiento considerando que ésta es labor de aquél que lo posee hacia los que no. Es decir, considera que aquel que tiene y transmite el conocimiento tiene mayor valor que quien que no lo tiene. Así, desde este punto de vista el público carece de conocimientos científicos debido a la especialización de la ciencia y la rapidez de su avance, de modo que el divulgador debe suplir este déficit.¹⁰⁶

Al irse profesionalizando la divulgación científica se han abierto los diálogos y cambiado las posturas considerando el contexto social de la ciencia y la cultura en general.¹⁰⁷ Actualmente se han propuesto otros modelos y marcos teóricos para la divulgación de la ciencia, entre los que se encuentran aquellos enfocados en crear diálogo considerando que el público no sólo es receptor de la información, sino que existe una reflexión propia y una aportación con respecto a los temas científicos. Así, desde estos modelos el individuo y sus consideraciones resultan tan importantes

¹⁰⁶ Marcos, A.

¹⁰⁷ Cheng, p. 2

como el mensaje mismo, siendo incluso posible el abrir espacios para el debate público sobre ciencia y tecnología.¹⁰⁸

A este respecto se ha agregado que además la preocupación por el sujeto se encuentra en la capacidad del mismo de aceptar o rechazar el mensaje científico mostrado, ya que se considera que dicho sujeto es capaz de tener un criterio propio e individual que le permite tomar decisiones en estos temas.¹⁰⁹

El diálogo con el público permite además una retroalimentación a la actividad científica. Al tener a la ciencia dentro de un contexto social, se ve afectada por lo que sucede a su alrededor. Actualmente uno de los principales intereses en el tema educativo es el de la tecnociencia, con el fin de tener a la ciudadanía informada para hacerla así mismo responsable de la toma directa de decisiones sobre estos temas que, además, no sólo afectan a la comunidad científica.

De nueva cuenta, la visión de una sociedad democrática donde la gente intervenga en la toma de decisiones importantes, es considerada dentro de éste diálogo. En palabras de Feyerabend "... la ciencia, tal como es practicada por los grandes científicos, [...], tiene un carácter tan abierto que no sólo permite, sino que incluso demanda, la participación democrática".¹¹⁰

Así, la comunicación científica es una actividad compleja que debe tomar en cuenta el contexto en el que se produce, el cual actualmente incluye un gran manejo de información por diversos medios. De esta forma, desde el periodismo científico, hasta la literatura de ficción científica, debe considerar los aspectos culturales que ocurren a su alrededor.

Otro de los nuevos modelos de divulgación, el modelo de sistema abierto, apunta a este sentido, considerándola una actividad que debe ser un sistema abierto, adaptativo y social.¹¹¹ Es decir, existe la necesidad de equilibrar los valores e intereses subjetivos de las personas con la ciencia y la tecnología para no caer en los extremos de, por un lado, el aislamiento en los puntos de vista

¹⁰⁸ Trench, p. 120

¹⁰⁹ Juárez, p. 20

¹¹⁰ Feyerabend, "Conocimiento para la supervivencia", p. 15

¹¹¹ Marcos, A.

personales, y por otro en la dominación de la escala de valores por la autoridad científica; por esto, la comunicación científica debe actuar como un organismo que permite comunicación con el exterior (el resto de la comunidad social) pero de forma regulada, de manera que mantenga su autonomía necesaria para sobrevivir como actividad con propósitos y programas propios. Así mismo, esta interacción es la que le permite adaptarse a los cambios sociales de la forma que mejor le convenga.

Este mismo modelo contempla las tensiones internas en la actividad divulgativa, siendo la más fuerte de ellas la necesidad de llamar la atención del público sin perder la credibilidad a largo plazo. Es decir, de nuevo se contempla la necesidad de la creatividad en la divulgación para presentar los temas de forma única y atractiva, pero teniendo cuidado de no deformar el mensaje científico que se quiera presentar.

Entre los esfuerzos por llamar la atención de la gente se ha analizado el uso de la cotidianidad para acercar los conceptos abstractos a la vida de las personas. Así, se considera que mediante la referencia a la vida cotidiana y a los conceptos tangibles, fácilmente se puede provocar interés, generar reflexión e incluso el deseo de saber más por parte de la gente.¹¹² Estas referencias, además de atractivas, ayudan a relacionar los conceptos científicos con otros conocimientos personales, entendiendo al mismo tiempo la repercusión que tienen en la vida diaria. Además, se considera que pueden generar sorpresa e incluso conmover al público.¹¹³

Esta reacción es la que Wagensberg espera se pueda producir dentro de un museo de ciencias. Para él, la llamada *interactividad emocional* es fundamental para generar estímulos hacia el conocimiento científico, es decir, que la sociedad se interese y quiera participar en dicho conocimiento. Junto con la *interactividad manual* y la *interactividad mental*, se completa lo que considera base para una buena museografía: además de permitir al público interactuar con la naturaleza para producir conocimiento al igual que lo hace el mismo científico (interactividad manual), es necesaria una reflexión sobre lo que está ocurriendo, un planteamiento de preguntas

¹¹² Bottinelli, p. 116

¹¹³ Bottinelli, p. 116

nuevas y el interés intelectual al surgir dudas nuevas y el deseo por resolverlas (interactividad mental); para ello, es necesario llamar la atención de la gente y apelar directamente a sus emociones (interactividad emocional).¹¹⁴ Justo en este punto, es donde considera el mismo autor viable el uso del arte para la divulgación científica.

Así, tanto el modelo de sistema abierto, como el modelo de diálogo, parecen ser adecuados para usar el arte como herramienta que permita una mejor comunicación científica, ya que por un lado tiene la capacidad de hacer referencias a la vida cotidiana de las personas, y por otro, representa un lenguaje que se comunica con las emociones de las personas.

Uso del arte en la divulgación científica

Actualmente la ciencia se menciona dentro de cualquier tema y en cualquier ámbito. Si bien es cierta su enorme importancia y la necesidad de acercarla al público en general, existe el problema de, al no ser entendida, es utilizada como justificación para todo tipo de fines comerciales e incluso políticos. Así, no dejamos de escuchar que las cosas se encuentran “científicamente comprobadas” como sinónimo de incuestionabilidad. Curiosamente la ciencia es la actividad que surge del cuestionamiento de las cosas; sin embargo, estamos en una época heredera del positivismo en la que la razón se encuentra con predominio sobre otras formas del conocimiento,¹¹⁵ por lo cual resulta difícil dudar de la voz de aquél al que llamamos experto en el tema.

Esto ha traído consigo que las llamadas pseudociencias cobren fuerza ante la gente, ya que al tener una imagen y un lenguaje similares a los de la ciencia, sus discursos son aceptados sin ningún cuestionamiento. La divulgación científica tiene como uno de sus objetivos enseñar lo que es la

¹¹⁴ Wagensberg, “A favor del conocimiento científico...”, pp. 301 -302

¹¹⁵ Feyerabend, “Conocimiento para la supervivencia”, p. 10

verdadera actividad científica y diferenciarla de la que no.¹¹⁶ Sin embargo, esto resulta en ocasiones difícil, ya que de nuevo, al estar al lado de los expertos, el espacio para el cuestionamiento y el debate difícilmente se logra.

A pesar de que el llamado modelo de déficit es cada vez menos usado en divulgación, algunas veces es difícil de separar de la imagen de la ciencia que se transmite junto con el mensaje. Esto es, cada vez que se comunica algo de ciencia, se transmite de igual forma una idea de lo que es ésta,¹¹⁷ idea que debe ser tomada en cuenta para el propósito específico que se tenga. Así, las opiniones son encontradas en cuanto a la posibilidad de presentar siempre a la ciencia como una actividad humana más, con sus errores y sujeta a intereses.

Es por esto que la divulgación encuentra valiosas herramientas en otros tipos de lenguaje e incluso en otras formas de conocimiento. De esta forma, el arte puede ayudar a crear espacios donde se genere reflexión y donde se muestren ideas encontradas, cosa que difícilmente sucede desde el discurso científico que se le presenta a la gente. Retomando las ideas de Wagensberg, estos puntos de vista distintos están comprendidos en la interactividad mental, permitiendo así tener una forma de estímulo hacia el tema científico, y, como ya se ha dicho, apelando a la parte emocional del público (por lo cual se caracteriza el arte) se cumple con la esperada interactividad emocional.¹¹⁸

Si bien los estudios sociales de la ciencia la describen como una actividad social donde la objetividad queda definida como el consenso de los expertos, los ideales de desinterés, objetividad y progreso, siguen estando presentes en ella. Esto no ocurre con el arte, donde al considerarse la obra como la opinión personal del artista, uno puede estar o no de acuerdo con ella. Además, una de las

¹¹⁶ Herrera, p. 206

¹¹⁷ Regules, "Qué imagen..."

¹¹⁸ Desde el punto de vista de los museos de arte, aquéllos que tratan con arte tecnológico o que tiene un fuerte trasfondo científico también consideran importante la capacidad de la obra de producir no sólo una reacción emocional, sino de igual forma intelectual. Así se discute que los artistas no se limiten a representar una teoría científica o que no sólo se tomen datos de un experimento para crear una imagen estética, sino que se busca una propuesta o discurso en torno a la ciencia que están representando. [Sardón]

funciones que cumple el arte es el de cuestionamiento y crítica a las actividades sociales, incluyendo, por supuesto, a la ciencia. De esta forma, el arte presenta una forma distinta de ver las cosas,¹¹⁹ dando un especial interés a los puntos de vista individuales de los artistas.

En su libro *Las tres ecologías*, Félix Guattari acuña el concepto de “ecosofía”, el cual es un intento por rescatar la subjetividad humana en la solución de los problemas actuales mediante el equilibrio de las esferas individual, social y la ambiental.¹²⁰ A pesar de que esta idea está concebida dentro de la temática ecológica, no debe ser entendida sólo como un discurso hacia el medio ambiente y los recursos naturales, sino que se refiere al sentido profundo de la palabra ecología donde el hombre, en conjunto con todas sus actividades, vive dentro de un medio y con el cual tiene que interactuar. Así, lo que Guattari propone es que el cambio de actitud necesario hacia el medio ambiente no puede ocurrir únicamente de forma social si esto afecta fuertemente a los individuos, y viceversa. Es decir, debe encontrarse un equilibrio entre los intereses del grupo y los personales, entre las distintas ramas de la cultura y los distintos conocimientos, entre la objetividad científica y las opiniones y creencias más particulares de cada individuo. Cuando esto no sucede, Guattari observa que no es posible resolver los problemas que no sólo afectan al ser humano, sino al planeta entero.

En comunicación esto implicaría la apertura al diálogo entre la ciencia y otros lenguajes, así como permitir la crítica y la opinión de aquellos que no son precisamente los expertos en el tema. Esta postura, francamente relativista, ha sido criticada al decir que imposibilita la comunicación y el conocimiento, ya que si se permite la validez de todos los puntos de vista, no es posible llegar a ningún acuerdo. Tal vez el filósofo más polémico a este respecto es, de nuevo, Feyerabend, quien defendió su relativismo al asegurar que no existen absolutos de ningún tipo, y que si bien las

¹¹⁹ Piñera

¹²⁰ Guattari, p. 27

distintas formas del conocimiento pueden no ser conmensurables de alguna manera, esto no impide que entre ellas exista entendimiento.¹²¹

Feyerabend apuesta por un relativismo más que nada político, donde todas las creencias (teorías, tradiciones, culturas, opiniones, puntos de vista, etc.), tuviesen la misma oportunidad de ser. Esto de ninguna forma supone que entonces tengan la misma validez ni la misma utilidad, sino que niega el papel dogmático de la ciencia que no acepta otros puntos de vista. Así, su ideal es una sociedad libre donde todos fuesen capaces de tener a la mano información no sólo científica, sino de todo tipo de conocimientos con el fin de poder hacer una discriminación propia y escoger creer en aquello que más le convenga.¹²² Por supuesto, este ideal resulta difícil y aun es muy cuestionable.

No obstante, la divulgación sí es una actividad que claramente está sujeta a puntos de vista y subjetividades, lo cual, lejos de ser un problema, puede significar oportunidades para enriquecer el diálogo sobre los temas científicos.

Esto es, aunque estamos hablando de divulgación científica, por lo cual no resulta ser un espacio para hablar de otras formas de conocimiento ni mucho menos para divulgarlas, sí es posible crear espacios en la divulgación para poner a la ciencia en contexto con el resto de la cultura,¹²³ dentro de los cuales se puedan presentar las opiniones que se tienen de ciencia desde otros puntos de vista con el fin de generar reflexión y con ello avanzar en la democratización, ya que no basta con aprender el conocimiento, sino que es necesario un proceso de asimilación para la formación de opiniones y criterios individuales.

Con esto, las decisiones en torno a temas científicos, que tienen repercusiones no sólo científicas, pueden ser tomadas responsablemente por el total de la sociedad. Es decir, el permitir espacios para opiniones y críticas hacia la ciencia desde puntos de vista externos no se refiere únicamente hacia los resultados, sino de forma más profunda hacia la actividad científica, sus

¹²¹ Feyerabend "En camino hacia..." p. 15

¹²² Feyerabend "En camino hacia..." p. 20

¹²³ Cheng, p. 3

programas y aplicaciones, las cuales se ven afectadas e igualmente inciden en el resto de la vida y la cultura humanas. Para esto es necesario que la gente comprenda lo que es la ciencia y de lo que habla, con el criterio suficiente para aceptar o rechazar estas ideas, y rescatando una de sus partes esenciales como personas: su subjetividad.¹²⁴ De igual forma, el diálogo es necesario para que además los científicos, tecnólogos y políticos estén informados sobre la opinión de la ciudadanía.¹²⁵

Estos espacios¹²⁶ y estos diálogos se logran mediante la comunicación científica, donde el arte resulta de gran utilidad al, primero, acercar los conceptos y temas de la ciencia al público mediante imágenes cotidianas y estéticas, y después, al permitir una opinión sobre el punto de vista del artista, el cual es presentado de entrada como subjetivo. Para esto es necesario apelar al discurso que presenta cada obra, no quedando únicamente con una imagen del arte como actividad meramente estética.

Así, el ejemplo aquí presentado de la obra de Escher como herramienta para la divulgación científica es únicamente una de las tantas posibilidades que se pueden encontrar al explorar el uso del arte en esta área.

La destreza artística de Escher logra que no sólo se tenga una obra estética, sino que al observarla nos sorprenda e incluso nos interese la forma en la que se logró realizar el mosaico o bien una de las figuras imposibles. La emoción que el artista sentía ante los temas que representaba es compartida, con lo cual se experimenta de forma emocional un acercamiento a la ciencia, dando no sólo representaciones de teorías, sino generando nuevas preguntas y estimulando el interés por los mundos y las repercusiones presentadas, no siendo otra cosa que interés por una representación de la realidad, lo cual también realiza la ciencia.

¹²⁴ Feyerabend, "Conocimiento para la supervivencia", p. 17

¹²⁵ Marcos, A.

¹²⁶ Wagensberg opina que el espacio donde se deben conjuntar los cuatro sectores del conocimiento científico (la comunidad científica, el sector productivo, la administración y la sociedad general) para el diálogo de temas científicos, son justamente los museos de ciencias. [Wagensberg, "A favor del conocimiento científico...", p. 307]

Capítulo 5 Ejemplo de divulgación usando el arte de Escher

El artículo que se presenta a continuación¹²⁷ es un breve ejemplo de lo que en este trabajo se propone. El propósito de este ejercicio es no divulgar únicamente un hecho científico (en este caso un concepto matemático), sino invitar a la reflexión de las posibilidades que este conocimiento trae consigo y su posible uso para desarrollar la imaginación.

El uso de la obra de Escher es el tema central del texto, donde no sólo se utiliza para ejemplificar una figura matemática y sus extrañas repercusiones, sino que se rescata el propio discurso del artista para, de nueva cuenta, invitar a la reflexión sobre los objetos que vemos y el mundo en el que vivimos.

¹²⁷ Este artículo ha sido presentado en la revista de divulgación *Hypatia*, del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Morelos.

Mundos imaginarios

Si el mundo fuera plano todo sería muy distinto. Y con plano no me refiero a un disco, como en algún momento se pensó que era la Tierra; no, con plano quiero decir sin volumen, como si no existiera la tercera dimensión.

Entonces las cosas tendrían menos grosor que una hoja de papel. Perdón, qué digo, no tendrían grosor alguno. Las personas y los edificios serían como ver una fotografía, siempre lisos, y no existirían cosas como poliedros, ni nudos, ni esferas, ni burbujas, y el decirle a nuestro amigo que si sigue comiendo se va a poner rechoncho no tendría el mismo sentido. Para dar direcciones bastaría con decir: más hacia arriba, tres pasos hacia abajo, camina hacia la derecha, se encuentra a tu izquierda... pero, ¿mencionar adelante y atrás?, ¡eso sería imposible! Todo, absolutamente todo, estaría exactamente a la misma profundidad.

El pensar en mundos con dimensiones distintas y sus repercusiones ha causado fascinación desde hace mucho y podemos encontrar ejemplos fantásticos de descripciones de lugares así. Tal vez el más sobresaliente es un libro llamado *Planilandia* (originalmente en inglés *Flatland*), donde un cuadrado cuenta la vida de ese país plano y su visita por los países de otras dimensiones descubriendo nuevas formas de ver la vida. Así, el señor Cuadrado, quien vive en un mundo por completo de figuras geométricas, descubre que no puede ver al señor Cubo distinto a como ve las cosas en su propio mundo, ya que Cubo, atravesando Planilandia, es sólo una rebanada de sí mismo.

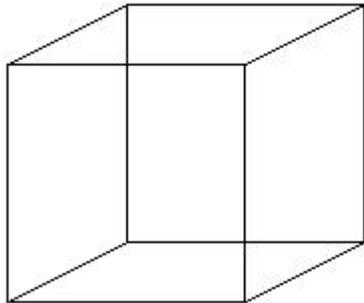
Si hacemos nuestra propia descripción y vamos más allá, pronto veremos que muchos fenómenos físicos no podrían ser y que prácticamente un mundo en sólo dos dimensiones sería imposible de existir, pero imaginemos un

momento cómo serían algunas cosas en ese lugar. En realidad, cualquier imagen sobre una superficie plana es casi como si tuviéramos un pequeño pedazo de ese mundo, ya que, aunque tengamos la sensación de profundidad en la imagen, si pasamos nuestro dedo sobre ella sentiremos únicamente algo liso.

Ya sé, me dirán que esto es obvio y quizás hasta tonto, y que además en un dibujo fácilmente podemos simular esa tercera dimensión faltante, siendo en realidad lo que vemos una representación de nuestro mundo tridimensional. Sin embargo, esto no siempre fue trivial y durante el Renacimiento los artistas dedicaron mucho tiempo a investigar, con interés y método profundamente científico, cómo lograr una adecuada representación plana del mundo en que vivimos y su volumen.

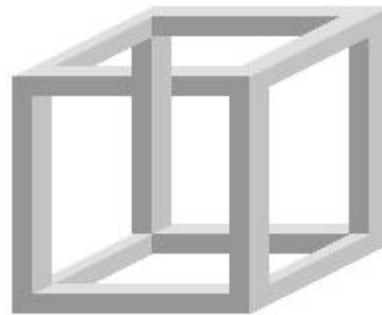
Para ver lo complicado que puede resultar esto, hagamos un dibujo de algo sencillo como lo es un cubo. Sí, muy

fácilmente podemos dibujar unas cuantas líneas y tener la impresión de que lo que tenemos en nuestra hoja plana de papel, en realidad tiene volumen. Como hemos visto muchas veces la figura, nuestra cerebro nos dice que hay líneas que tienen que ser más largas y otras más cortas, e incluso nos sabemos el juego de ilusión óptica que la imagen siguiente nos causa y podemos jugar a cambiar la perspectiva que tiene la figura. Sin embargo, lo que no podemos hacer es ver las dos al mismo tiempo.



Para hacer un poco más claro esto, tomemos ahora la imagen de la Jaula de Penrose, la cual es imposible de hacer materialmente. Para dibujar esta figura

imaginemos que cada línea de nuestro cubo anterior tiene algo de grosor, es decir, como si se tratara de las barras de una jaula en vez de las aristas de un cubo, pero antes de terminar crucemos una de estas barras y a la mitad del camino pasémosla de atrás hacia delante. Nos quedaría algo así:



Ahora el juego de ilusión óptica es mucho más obvio, y claro, nuestros amigos nos dirán que el dibujo de ese cubo está mal, ya que esa figura en nuestro mundo tridimensional no puede existir.

Pero, ¿qué pasaría si existiera? El artista holandés M.C. Escher hizo a su vez un dibujo de un lugar donde, a pesar de parecerse mucho a nuestro mundo, este cubo imposible sí existiría.

En este dibujo vemos una especie de mirador o edificio de dos pisos y gente en él, el edificio tiene sus escaleras a la entrada y tanto el segundo piso como el techo están sostenidos por columnas; al fondo se ve el paisaje de grandes montañas y dos personas parecen observarlo. Sin embargo, si miramos con más calma, parece que las columnas están mal dibujadas o que algo raro sucede, ya que las de atrás parecen ir hacia enfrente y cruzarse con las que estaban enfrente para ir hacia atrás, igual sucede con la escalera que lleva al segundo piso y que estando dentro del edificio termina fuera de él, y aún peor, no hay concordancia entre la orientación de un piso con el otro. Así es, todo el edificio parece ser una especie de cubo imposible, y efectivamente las cosas en él resultan ser por completo extrañas.

Aunque si reflexionamos que ése es un mundo sin volumen de pronto las cosas no tienen nada de extraño. Las columnas no pueden cruzarse si no hay adelante y atrás y la escalera no tiene

ningún problema cuando no existe adentro y afuera. Si todo está en el mismo plano entonces incluso el paisaje de grandes montañas está al alcance de la mano de las personas que lo observan. ¿Y por qué sabemos que se trata de un mundo plano y no que Escher era en realidad un mal dibujante? Tal vez porque todos parecen estar tan tranquilos y haciendo su vida normal, y sobre todo porque si nos fijamos hay uno de ellos que parece estar muy pensativo con un objeto extraño entre sus manos, que sí, es precisamente el cubo imposible del que hemos estado hablando.

Si me pidieran que inventara alguna historia sobre este lugar me atrevería a contar de la gente plana haciendo ropa plana, de los arquitectos planos dedicados a hacer edificios planos y



M. C. Escher, *Belvedere*
Litografía. 1958.

escaleras planas, e incluso del rey plano de aquel reino bidimensional. Pero, a pesar de todas las maravillas que se podrían contar, no dejaría de hablar de ese sujeto sentado y pensativo que seguramente se pregunta cómo es ese espacio en el que vive y los objetos que pueden existir en él. Sí, seguramente él es el matemático del lugar.

Así, ya que lo único que en ningún lugar puede ser plana es la imaginación, este personaje es quien se dedicaría a contar sobre las figuras extrañas e inexistentes de su mundo, como lo sería un cubo y cualquier otra cosa con volumen. Indudablemente causaría gran intriga el pensar en ese lugar fantástico donde hubiera una tercera dirección para moverse, y así platicaría como cuento de

hadas las implicaciones que este maravilloso lugar tendría. Y, por qué no, hasta hablaría de las figuras que no tendrían sentido en un mundo con volumen. Especialmente tendría cuidado de no realizar conexiones erróneas entre líneas al dibujar una jaula, ya que aunque en el mundo plano sólo se tienen líneas, en el mundo tridimensional el adelante y atrás tiene sus reglas.

En nuestro mundo con volumen también existen matemáticos, y son precisamente ellos quienes nos ayudan a

describir lugares imaginarios como este dibujo y quienes, además de hablar sobre el espacio en que vivimos y al que estamos acostumbrados, crean figuras que nos parecen imposibles y que nunca podrán existir en nuestro mundo, pero sí en otros que ellos mismos se imaginan y nos dicen cómo son.

Como este cubo existen otras figuras también llamadas imposibles por su falta de coherencia en nuestra dimensión pues aquí no podrían existir físicamente; sin embargo, podemos dibujarlas y tener

una representación de ellas en dos dimensiones. Pero gracias a las matemáticas podemos ir más allá y comenzar a hablar de espacios tridimensionales que, sin ser el nuestro, se comportan de forma distinta y permiten que una variedad de figuras extrañas sí puedan existir. De esta manera, aunque físicamente sean imposibles, una vez establecidas las reglas del juego, ¡son matemáticamente correctas!

Referencias:

- Abbot, E. A., *Flatland. A Romance of Many Dimensions*. Dover, 1992
- Ernst, B. *The Magic Mirror of M.C. Escher*. Taschen, 1994, pp. 26 – 28, 86 – 89
- Escher, M.C., *M.C. Escher. The Graphic Work*. Taschen, 1989, pp. 14 – 15

Conclusiones

Al final de este trabajo se concluye que:

La divulgación científica es una actividad social que, como tal, debe estar al tanto de la situación de la ciencia actual, para con ello transmitir el mensaje de forma efectiva dependiendo de los propósitos específicos que se tengan, ya sea desde interesar al público en la actividad científica, la formación de ciudadanía responsable, o bien el compartir emociones y generar criterios sobre temas de ciencia.

Dentro de la divulgación científica existen diversos modelos teóricos, los cuales poco a poco han desplazado la visión de déficit intentando acercar a la gente a los temas científicos mediante diálogos y sistemas abiertos donde es importante la retroalimentación de la sociedad hacia la ciencia. Esto permite tener ciudadanías con criterio científico que puedan tomar decisiones responsables en los temas tecnocientíficos que influyen en todo el contexto social.

La comunicación científica debe permitir espacios donde no sólo se presente información, sino que se permita la reflexión y la asimilación tanto del conocimiento como de su significado e implicaciones. Con esto, se espera formar equilibrios entre la subjetividad de las personas y el conocimiento científico que representa una parte de la objetividad social, para con ello afrontar los problemas que actualmente afectan a todos.

El arte representa una forma de comunicación, y debido a que no se encuentra aislado de las demás ramas de la cultura, como la ciencia, puede ser utilizado como herramienta dentro de la divulgación científica. Resulta de especial interés al poder presentar puntos de vista subjetivos, los

cuales, al ser entendidos de esta forma, permiten la opinión y la asimilación o rechazo por parte del público.

Esta subjetividad permite además una interacción emocional con el espectador, la cual es deseada en la museografía científica moderna. Al acercar al público a la ciencia a través de sus emociones, se logra generar interés hacia la actividad científica y permite además que la gente se sienta realmente involucrada en dichos temas. Una forma de lograr este tipo de interacción es el hacer referencia a hechos cotidianos de la vida de las personas.

La obra de Escher ha sido usada en diversos ejemplos al hablar de teselaciones y de cristalografía. Sin embargo, sus usos en la divulgación pueden ser más amplios al analizar no sólo los elementos científicos que toca, sino el discurso que en ella presenta.

Los elementos científicos en la obra de Escher no son accidentales. El artista mantuvo comunicación estrecha con la comunidad científica con lo cual su acervo de conocimientos a este respecto creció y le ayudó a formar su propio lenguaje visual, con lo cual pudo expresar su forma particular de ver las cosas. El uso de figuras de animales o plantas, así como la creación de máquinas que muestran las consecuencias de una figura imposible, permiten acercar a la cotidianidad conceptos abstractos de la ciencia facilitando con ello su entendimiento. Es por esto que la obra de Escher resulta útil para la comunicación de dichos conceptos. Con esta cotidianidad, permite además acercar la ciencia a la gente de forma reflexiva, permitiendo adoptar un modelo de diálogo dentro de la comunicación de la ciencia.

Sin embargo, Escher es sólo un ejemplo. En realidad las diversas manifestaciones artísticas abren grandes posibilidades para establecer diálogos y opiniones en el tema científico como medio de apoyo de la divulgación.

Bibliografía

- Abbot, E. A., *Flatland. A Romance of Many Dimensions*. Dover, 1992
- Arocena, R. “Sobre la democratización de la ciencia y la tecnología” en: *Ciencia, Tecnología y Vida Cotidiana. Reflexiones y Propuestas del Nodo Sur de la Red Pop*. Uruguay, 2009, pp. 25 – 31
- Ashton, D. “Counteraction” en Krieger, P. (ed.), *Arte y ciencia. Memorias del XXIV coloquio internacional de historia del arte*, Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM, México 2002 pp. 15 – 28
- Bottinelli, N., Bergara, D., Hakas, M., “Trabajando desde la cotidianidad” en: *Ciencia, Tecnología y Vida Cotidiana. Reflexiones y Propuestas del Nodo Sur de la Red Pop*. Uruguay, 2009, pp. 113 – 119
- Calvo, M. *Periodismo Científico y Divulgación de la Ciencia*. Ed. Acta, España, 2005
- Chávez, N. “¿Yo... divulgador?”, en Tonda, J., Sánchez, A. M. y Chávez, N. (Coordinadores), *Antología de la Divulgación de la Ciencia en México*. Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM. Colección: Divulgación para Divulgadores. México 2002
- Chavolla, A. “La estética, ¿creación o conocimiento?” en Krieger, P. (ed.), *Arte y ciencia. Memorias del XXIV coloquio internacional de historia del arte*, Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM, México 2002 pp. 33 – 50
- Cheng, D, Claessens, M., Gascoigne, T., Metcalfe, J. Schiele, B., Shi, S., "Introduction: Science Communication – A Multidisciplinary and Social Science” en Cheng, D, Claessens, M.,

- Gascoigne, T., Metcalfe, J. Schiele, B., Shi, S. (editores) *Communicating Science in Social Contexts*. Springer, 2008 pp. 1 – 3
- Coppel, G. “Equivocal links between art and science: when strictness sleeps, words engender”. *Leonardo*, Vol. 27, No. 3, Art and Science Similarities, Differences and Interactions: Special Issue (1994), pp. 203 – 205
- Del Río, F. “El vulgo y la ciencia”, *Naturaleza*, Vol. 14, No. 5 (99), octubre de 1983 pp. 278 – 279
- Ernst, B. *The Magic Mirror of M.C. Escher*. Taschen, 1994
- Escalante, V. “Un Sincretismo de Arte y Ciencia” en Berlanga, R., Zuazua, R. *La Fascinación de la Inteligencia: Opiniones sobre Ciencia y Arte*, UNAM, pp. 83 – 142
- Escher, M.C., *M.C. Escher. The Graphic Work*. Taschen, 1989,
- Estrada, L. “La divulgación de la ciencia”, en Tonda, J., Sánchez, A. M. y Chávez, N. (Coordinadores), *Antología de la Divulgación de la Ciencia en México*. Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM. Colección: Divulgación para Divulgadores. México 2002
- Fabregat, G, Francisco, J., *Cristalografía geométrica*, México: UNAM, Instituto de Geología, 1971
- Feyerabend, P. “Adiós a la razón” en *Adiós a la razón*. Madrid, Tecnos 1984, pp. 19 – 103
- Feyerabend, P. “Ciencia como arte” en *Adiós a la razón*. Madrid, Tecnos 1984, pp. 123 – 195
- Feyerabend, P. “Conocimiento para la supervivencia” en *Adiós a la razón*. Madrid, Tecnos 1984, pp. 9 – 17
- Feyerabend, P. “En camino hacia una teoría del conocimiento dadaísta” en *Por qué no Platón*. Madrid, Tecnos, 1985
- Flint, E. E., *Principios de cristalografía*, Moscú: Ed. Paz, 1966
- Garoian, C. R., Mathews, J. D., “A common impulse in art and science”, *Leonardo*, Vol. 29, No. 3 (1996), pp. 193 – 196
- Guattari, Felix, *Las tres ecologías*, Valencia: Pre-Textos, 1996
- Herrera, M. A., “Divulgar... ¿para qué y por qué?”, en Tonda, J., Sánchez, A. M. y Chávez, N. (Coordinadores), *Antología de la Divulgación de la Ciencia en México*. Dirección General de Divulgación de la Ciencia, UNAM. Colección: Divulgación para Divulgadores. México 2002
- Hidalgo, L. *Mosaicos*. Temas de matemáticas para bachillerato. UNAM 2007

- Juárez, R. E., *Las chapuzas del lector. Análisis semiótico de la recepción*. Guadalajara, ITESO
- López Beltrán, C. “La creatividad en la divulgación de la ciencia”, *Naturaleza*, Vol. 14, No. 5 (99), octubre de 1983 pp. 291 – 287
- Marcos, A., Calderón, F. “Una teoría de la divulgación de la ciencia”
- Olea, O. “El factor estético en la determinación de patrones estructurales, tanto en ciencia como en el arte” en Krieger, P. (ed.), *Arte y ciencia. Memorias del XXIV coloquio internacional de historia del arte*, Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM, México 2002 pp. 51 – 60
- Piñera, S. “El arte como herramienta de divulgación: comunicación y reflexión en torno a la ciencia” XI Reunión de la RedPop: Identidad y Construcción de la Ciudadanía, Montevideo, Uruguay, 26 al 29 de Mayo de 2009
- Ramírez-Galarza, A. “Tres Miradas sobre Escher”, en Berlanga, R., Zuazua, R. *La Fascinación de la Inteligencia: Opiniones sobre Ciencia y Arte*, UNAM, pp. 209 – 242
- Ramírez-Galarza, A., Seade Kuri, J. *Introducción a la geometría avanzada*. Ed. Las prensas de ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, México 2002
- Ramírez-Galarza, A., Sierna Loera, G. *Invitación a las geometrías no euclidianas*. Ed. Las prensas de ciencias, Facultad de Ciencias, UNAM, México 2000
- Regules, S. “Qué imagen de la ciencia transmitimos”, memorias de la X Reunión de la RedPop, en: www.cientec.or.cr/pop/2007/MX-SergiodeRegules.pdf
- Regules, S., Tagüeña, J. “ARTE/CIENCIA en Universum: dos caras de una moneda”, *Elementos* Vol. 9, No. 48, 53 (2002)
- Romeu Casajuana, D. “La física de los cuasicristales”, en: www.smcr.fisica.unam.mx/8temasutiles/articulosutiles/cuasicristales.htm
- Roque, G. “¿Qué onda? la abstracción en el arte y la ciencia” en Krieger, P. (ed.), *Arte y ciencia. Memorias del XXIV coloquio internacional de historia del arte*, Instituto de Investigaciones Estéticas, UNAM, México 2002 pp. 169 – 192
- Sánchez, A. M., Tagüeña, J., Bonfil, M. “Creadores de movimiento”. Información científica y tecnológica. Vol. 14, No. 5 (1992), pp. 57 – 64
- Sardón, M., “Seminario Data Art”, Laboratorio Arte Alameda, México DF, 20 al 24 de Julio de 2009

- Schattschneider, D. "The Polya-Escher connection". *Mathematics magazine*, Vol. 60, No. 5 (1987), pp. 293 – 298
- Schattschneider, D. *Visions of symmetry: Notebooks, periodic drawings and related work of M.C. Escher*, New York: W. H. Freeman, 1990
- Stewart, John. "Can science be an art? Epistemology as the vehicle for a trip from science to art and back". *Leonardo*, Vol. 22, No. 2 (1989), pp. 255 – 261
- Tagüeña, J. "Sistemas desordenados" en Aguilar, G. *La física contemporánea 2. Las ciencias en el siglo XX*. Coordinación de la Investigación Científica, Dirección General de Difusión Cultural, UNAM, México 1983, pp. 121 – 147
- Trench, B. "Towards an Analytical Framework of Science Communication Models" en Cheng, D, Claessens, M., Gascoigne, T., Metcalfe, J. Schiele, B., Shi, S. (editores) *Communicating Science in Social Contexts*. Springer, 2008 pp. 119 – 135
- Wagensberg, J. "A favor del conocimiento científico (Los nuevos museos)". *Revista Valenciana d'Estudis Autonòmics*, No. 23 (1998), pp. 295 – 309
- Wagensberg, J. "El herrero y el biólogo"
- Wagensberg, J. "The beautiful and the intelligible: art in a science museum"
- Ziring, N. "M.C. Escher Brief Biography", en: users.erols.com/ziring/escher_bio.htm

Sitios Web consultados:

- www.mcescher.com
- www.worldofescher.com

Imagen 1

Autorretrato.
Litografía. 1943.





Imagen 2

Retrato de Jetta
Umiker, esposa de
Escher.
Grabado en madera.
1925.

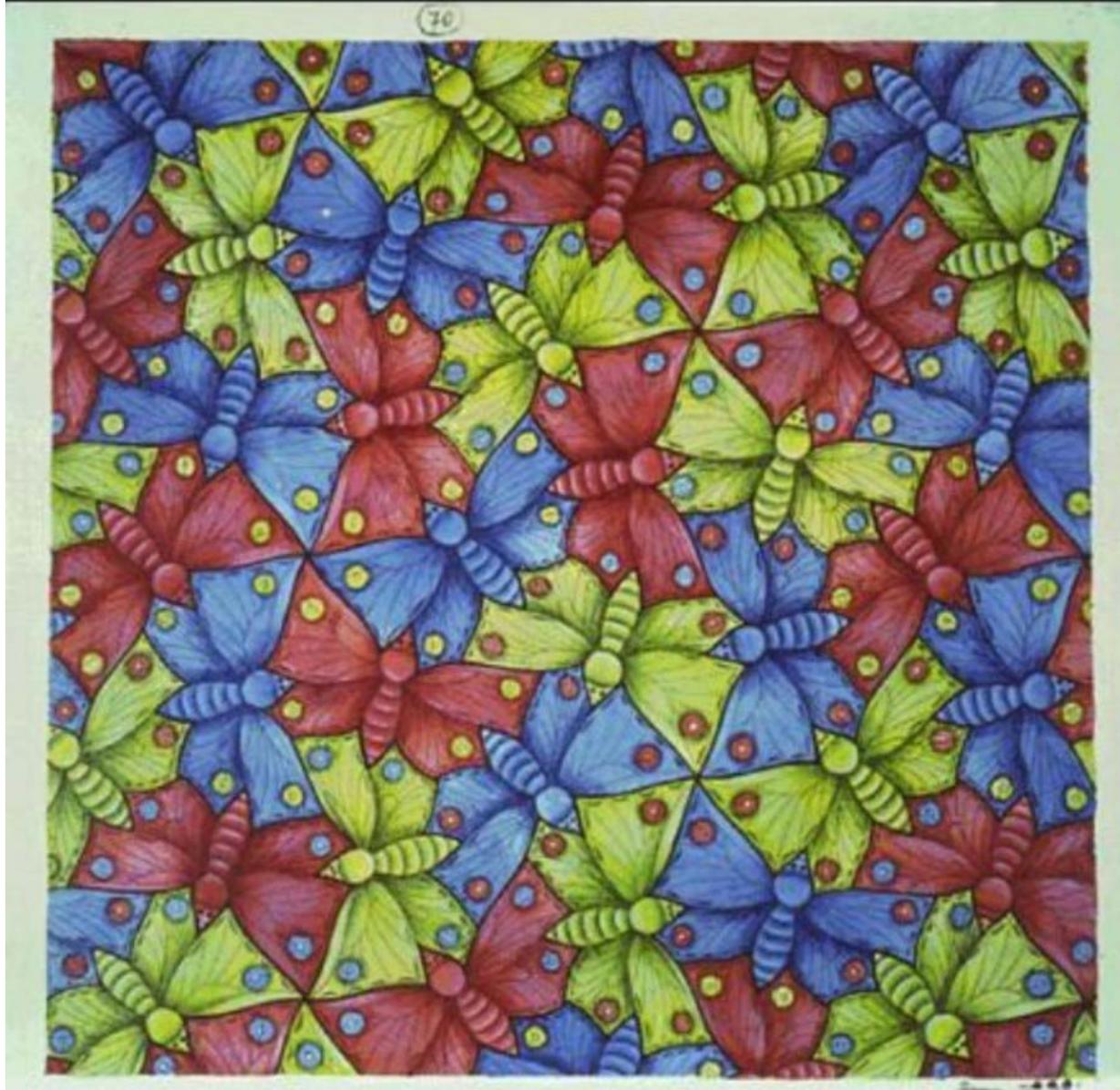


Imagen 3

Mosaico formado por mariposas de tres colores.

Lápiz, lápices de colores y tinta. 1948.

En este mosaico Escher sólo utiliza una figura. Las mariposas se acomodan alrededor de ejes de rotación senarios, formando así hexágonos que se repiten. Sin embargo, dos colores de mariposas se alternan alrededor de cada eje, convirtiéndolo así en un eje ternario que contiene figuras de dos colores.



Imagen 4

Naturaleza Muerta y Calle.
Grabado en madera.
1937.

Aquí Escher juega con dos mundos simultáneos en una sola imagen, creando así una realidad imposible. Este tipo de dibujos lo ubican cerca de los artistas surrealistas contemporáneos a él.

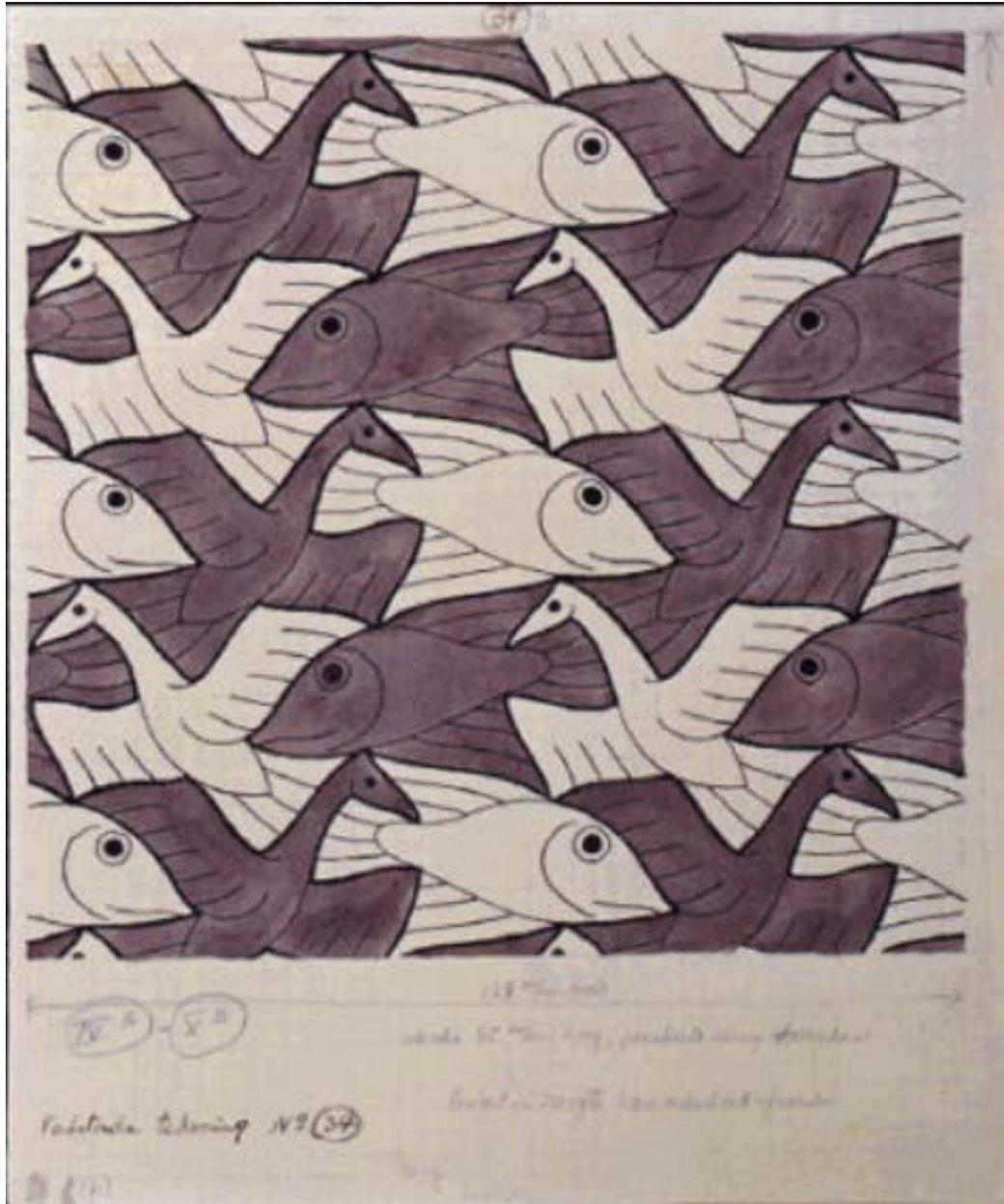


Imagen 5

Mosaico formado por peces y aves, en dos colores.

Lápiz, lápices de colores y tinta. 1941.

Aquí la partición regular del plano está formada por dos figuras distintas. Tanto los peces como las aves forman columnas en las cuales la figura es trasladada verticalmente y luego reflejada horizontalmente. Con cada uno de estos movimientos las figuras se alternan de color.

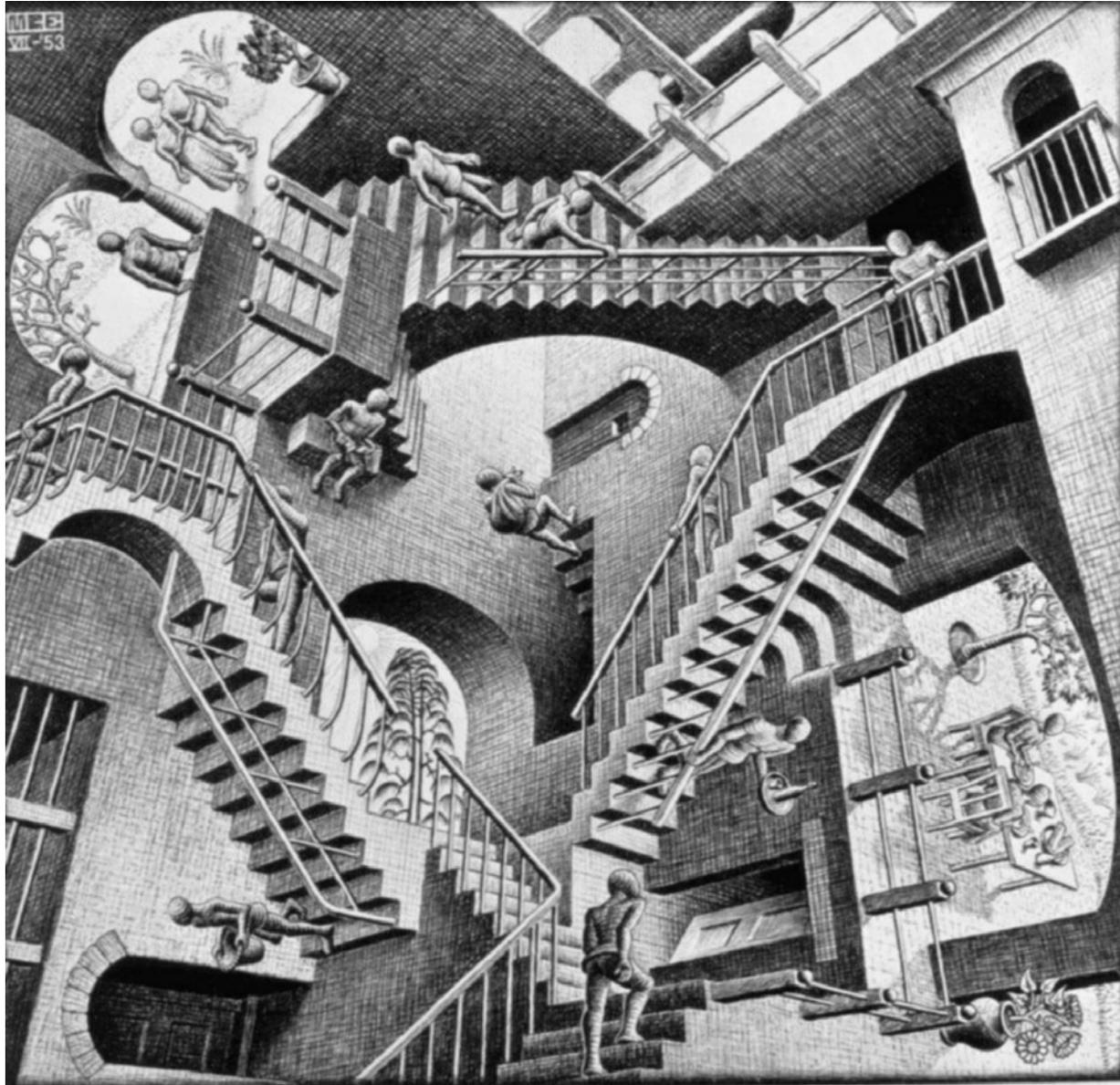


Imagen 6

Relatividad.
Litografía. 1953.

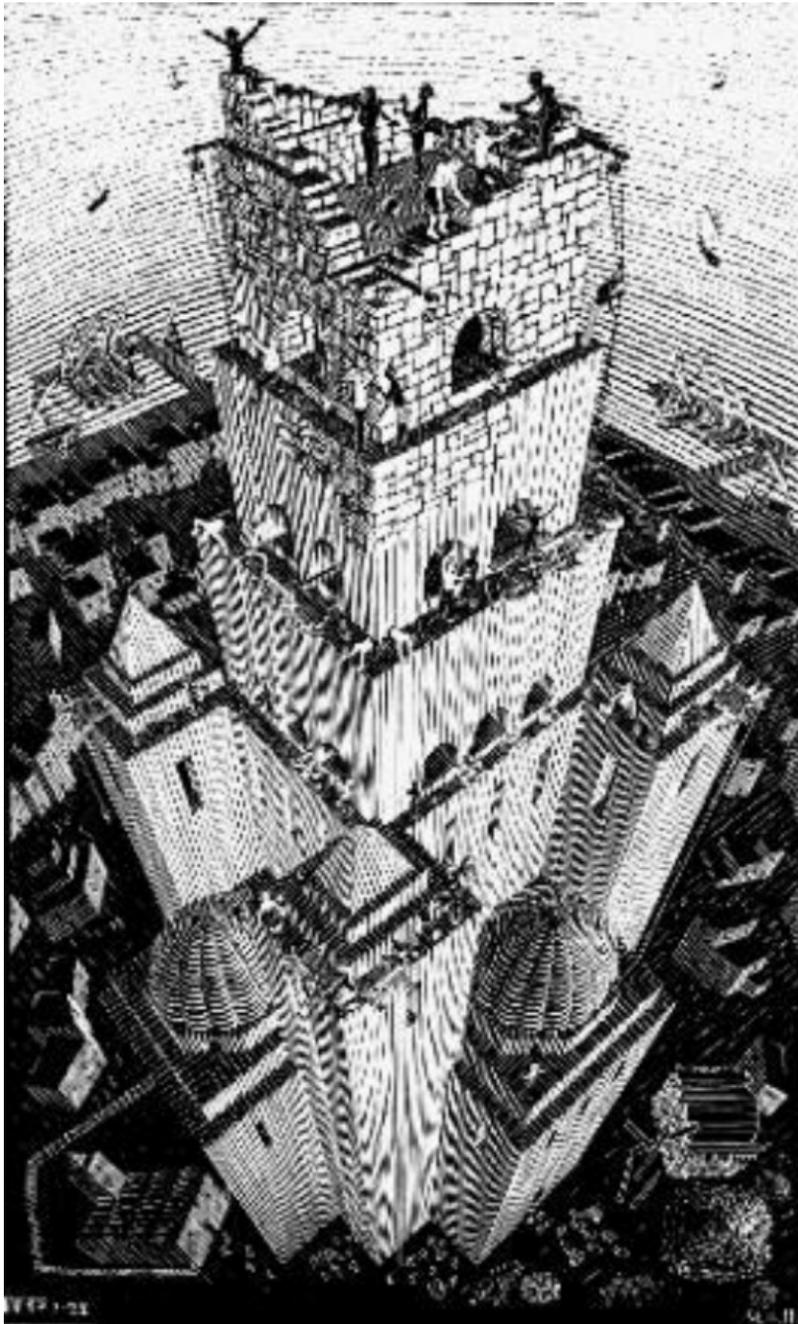


Imagen 7

Torre de Babel.
Grabado en madera.
1928.

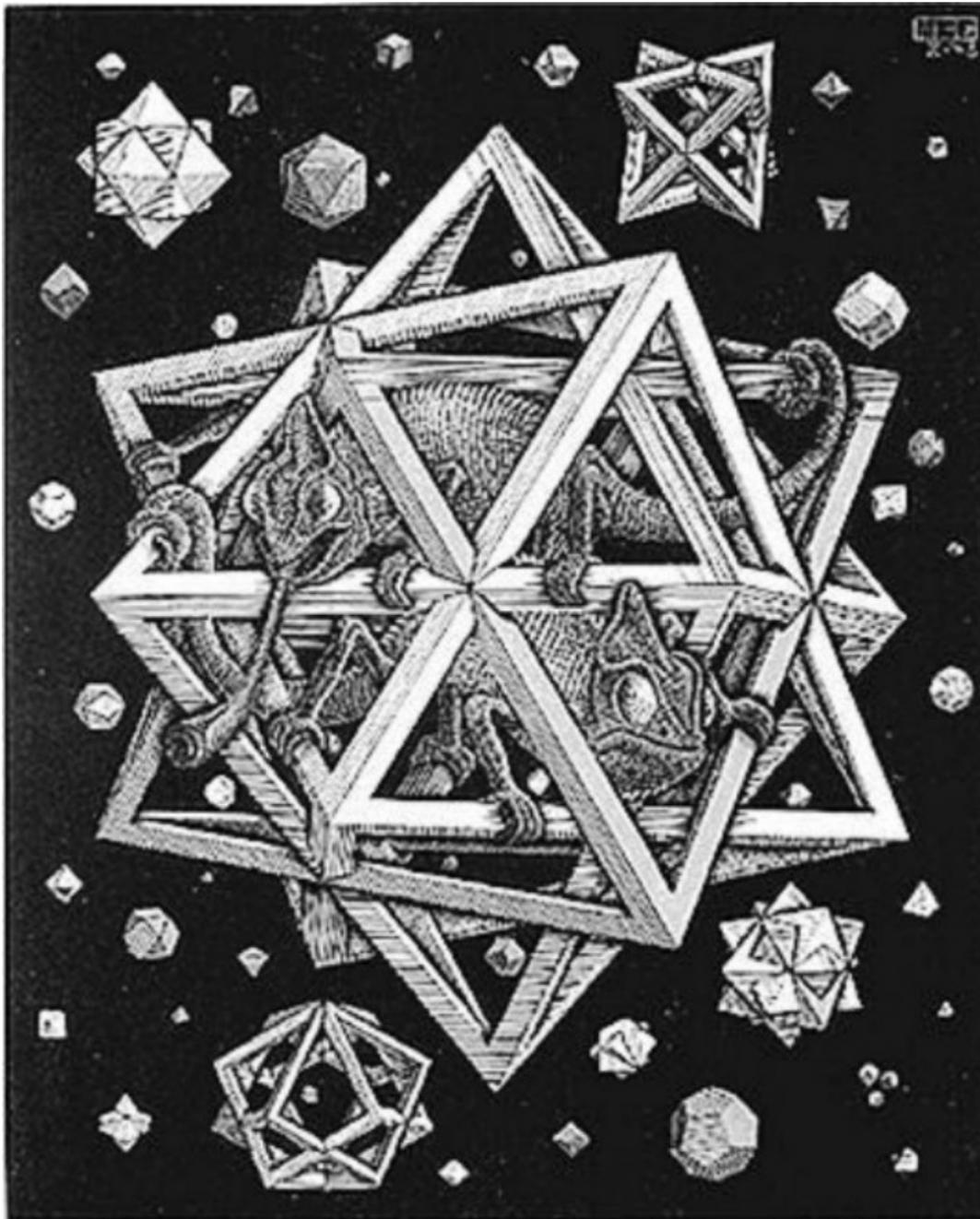


Imagen 8

Estrellas.
Grabado en madera.
1948.

En esta imagen se pueden observar distintos tipos de sólidos geométricos, entre los que se encuentran sólidos platónicos, sólidos arquimedeanos y sólidos con picos en las caras.

Imagen 9

Cristal.
Mezzotinta. 1947.

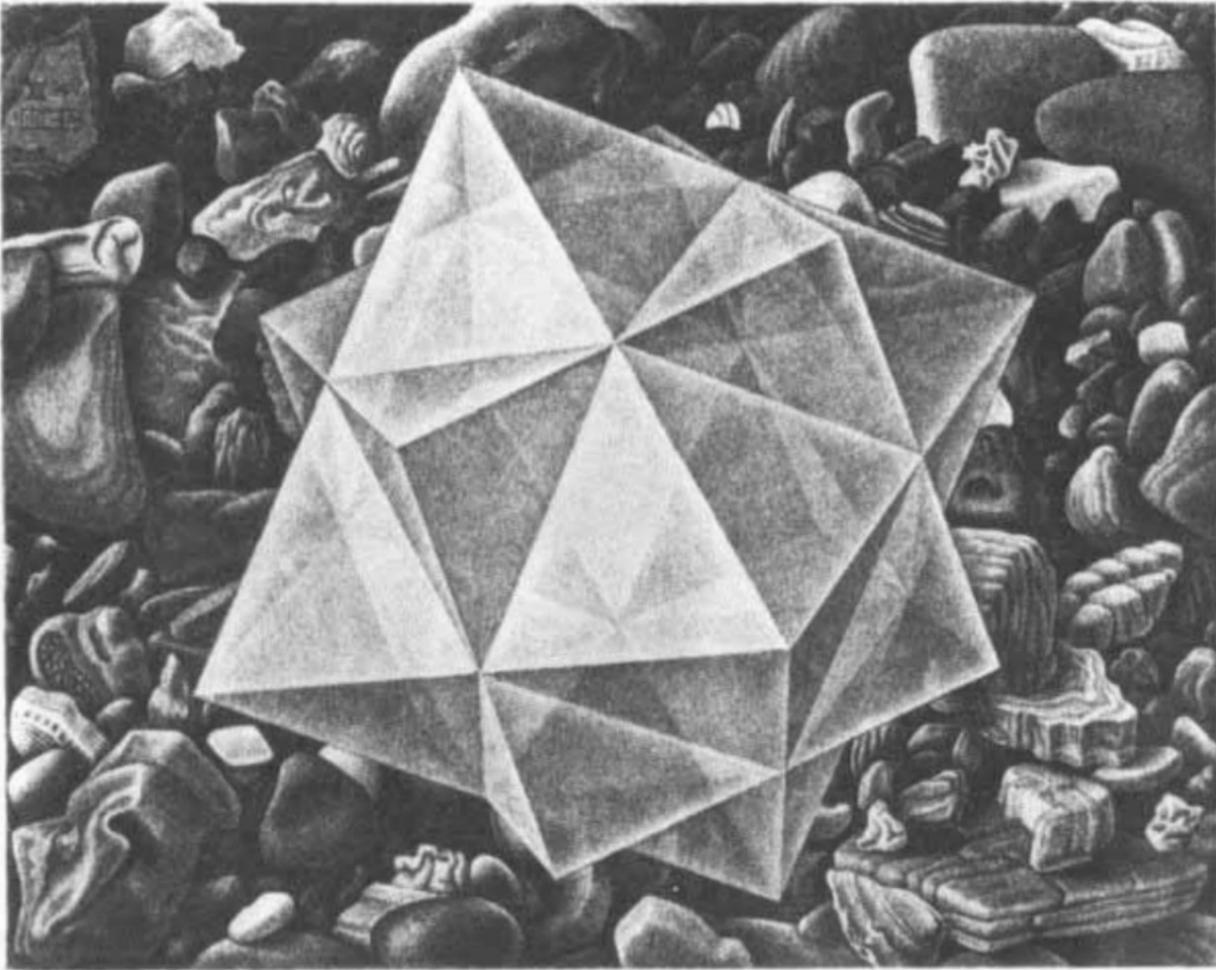




Imagen 10

*Mano con Esfera
Reflejante.*
Litografía. 1935.

Se puede ver cómo la
imagen se deforma al
reflejarse en la esfera.

Imagen 11

Metamorfosis II.
1 a 3 de 7
Grabado en madera
en varios colores,
impreso en bloques.
1940.

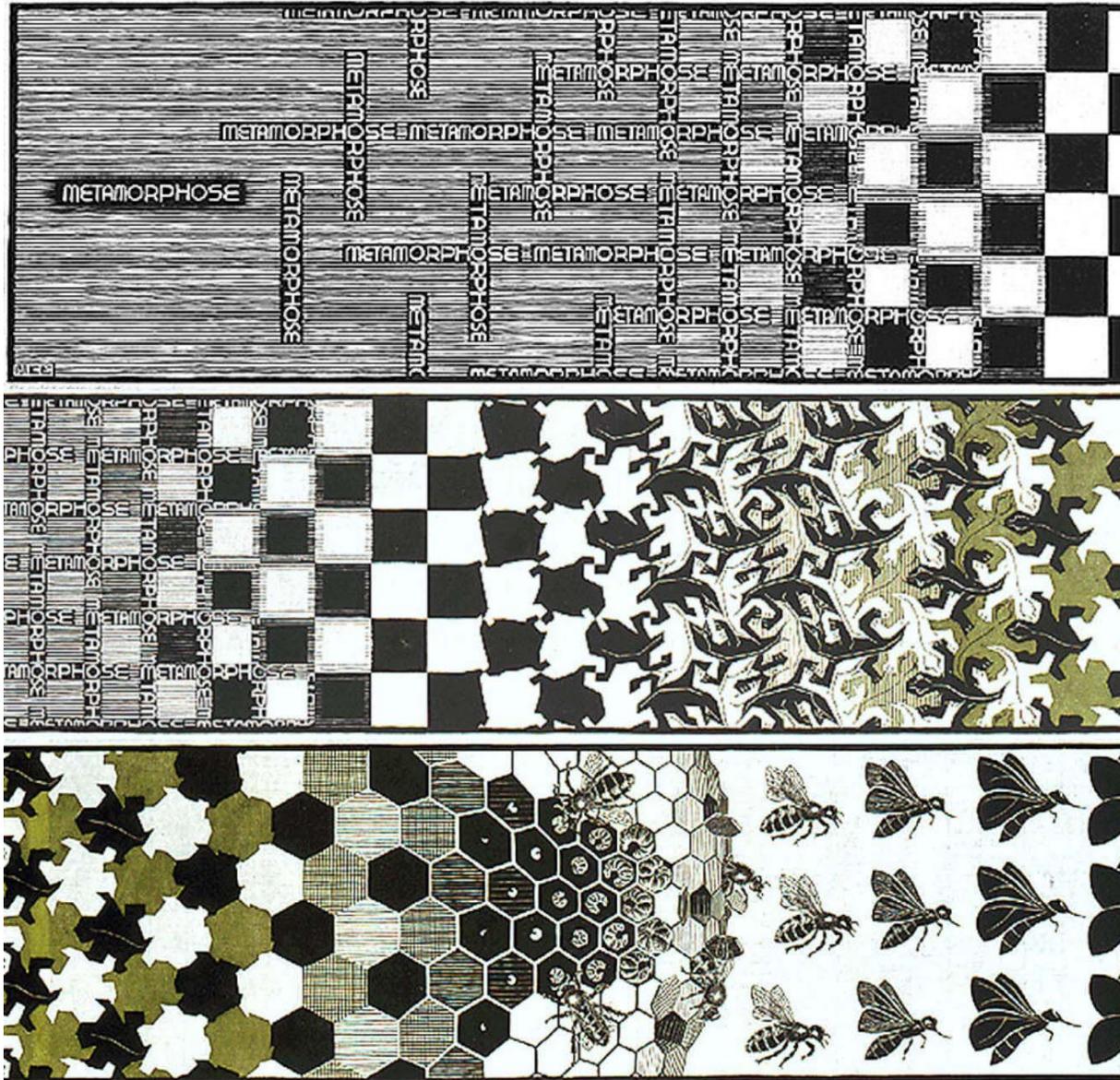


Imagen 11 (cont.)

Metamorfosis II.

4 a 5 de 7

Grabado en madera
en varios colores,
impreso en bloques.
1940.

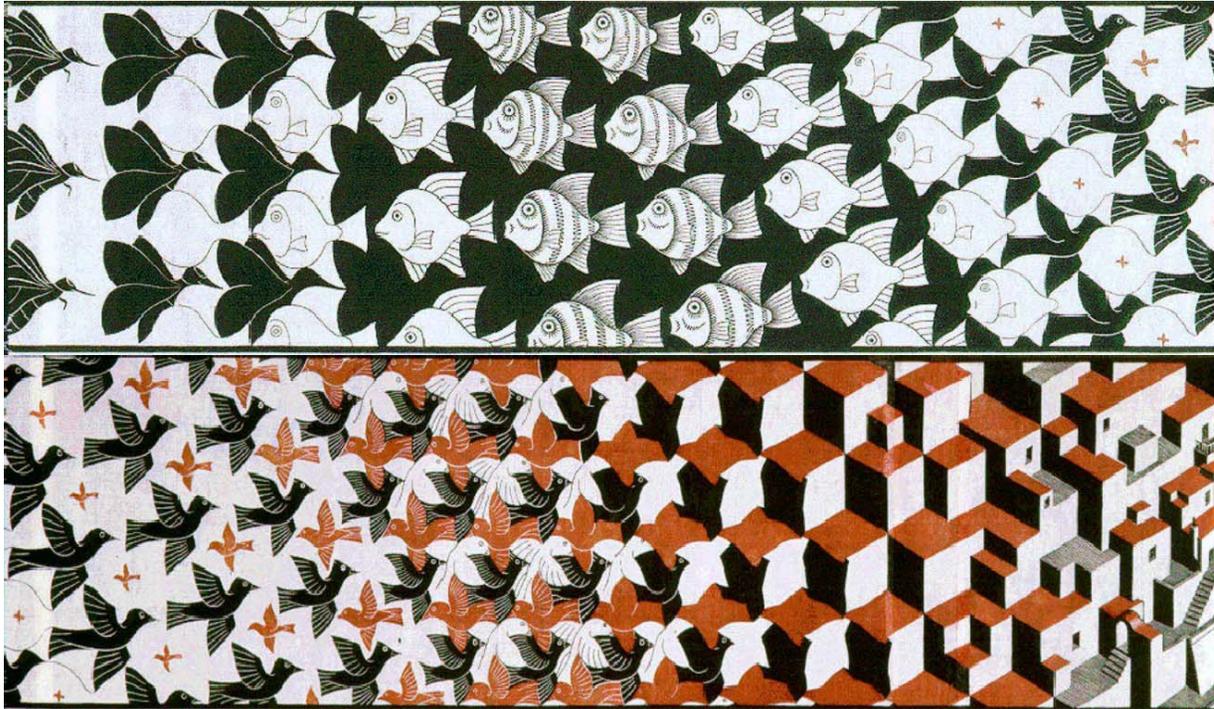
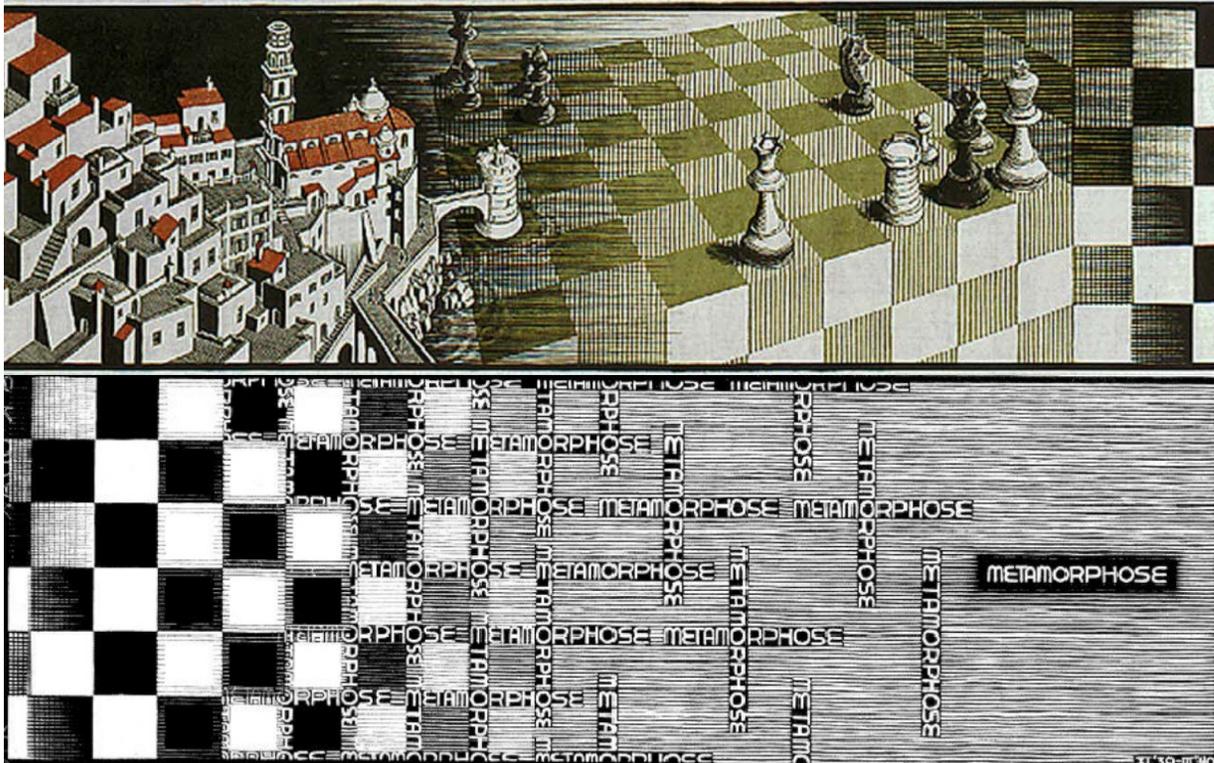


Imagen 11 (cont.)

Metamorfosis II.

6 a 7 de 7

Grabado en madera
en varios colores,
impreso en bloques.
1940.



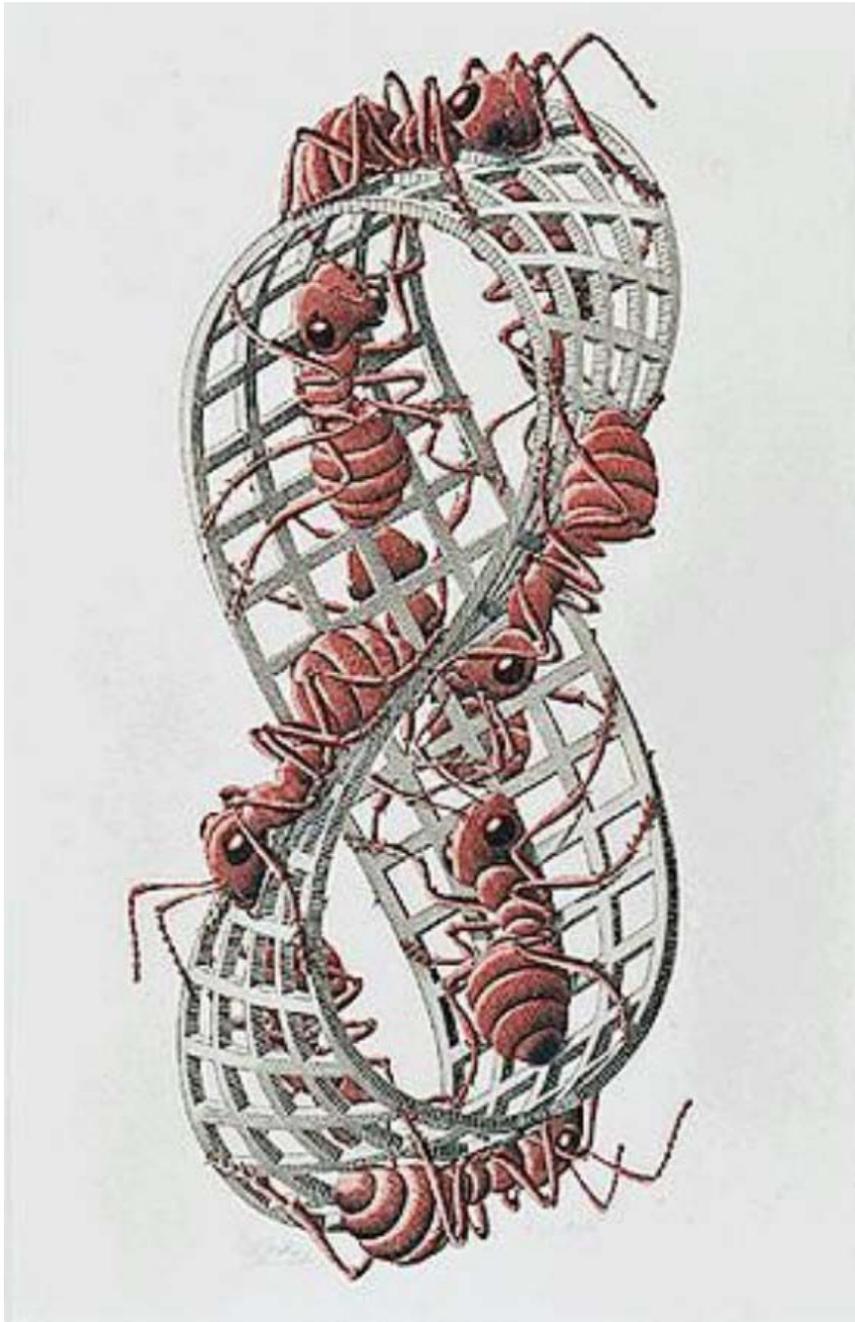


Imagen 12

Banda de Möbius II.
Grabado en madera
en varios colores,
impreso en bloques.
1963.

Las hormigas siguen el
camino a lo largo de la
banda, haciendo
evidente que la figura
tiene una sólo cara.

Imagen 13

Manos Dibujando.
Litografía. 1948.

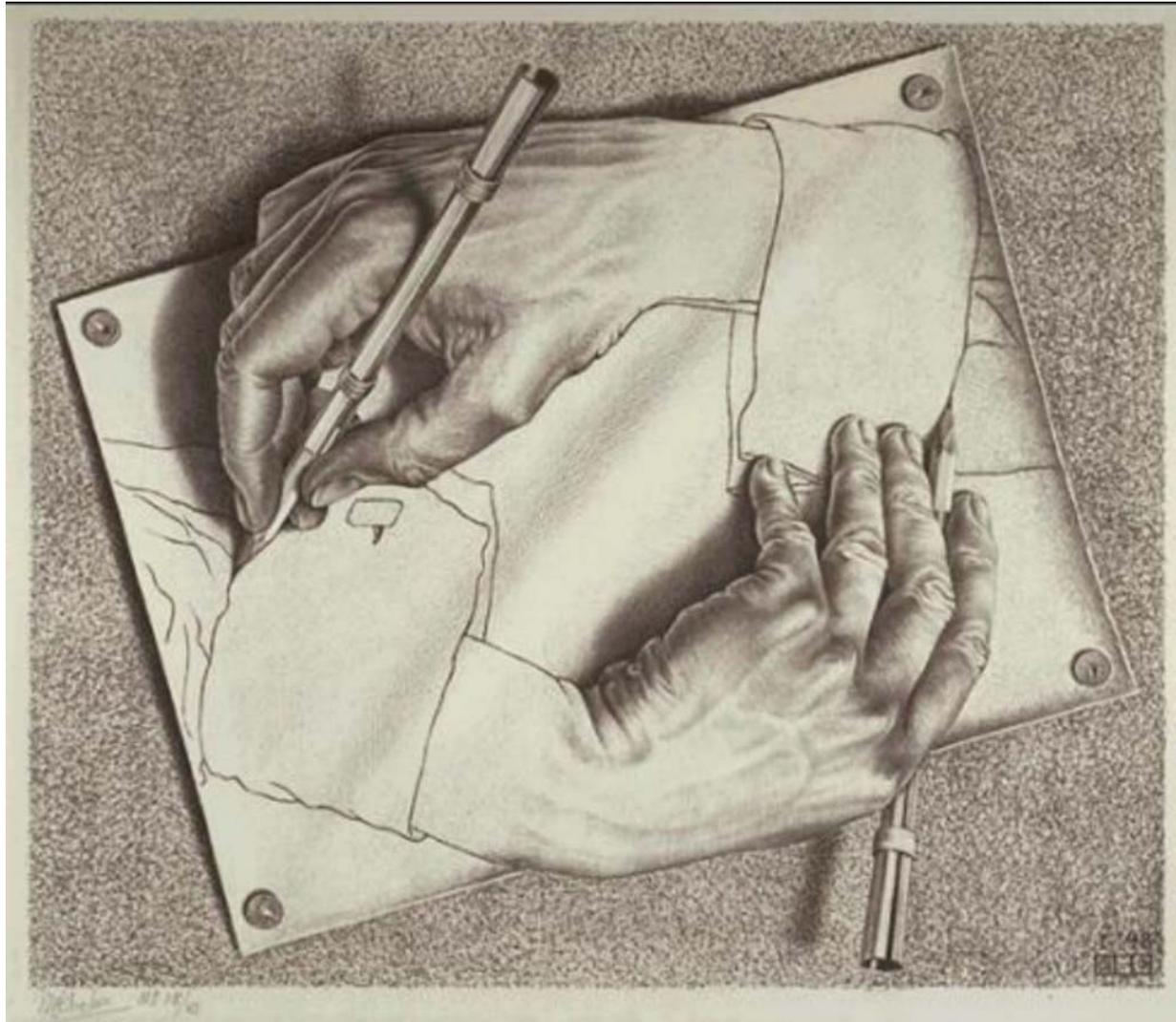


Imagen 14

Reptiles.
Litografía. 1943.





Imagen 15

Cascada.
Litografía. 1961.

Escher utiliza la combinación de dos triángulos de Penrose para hacer en canal por el cual circula el agua, simulando así una máquina de movimiento perpetuo.

Imagen 16

Movimientos en el plano.
a) Traslación, b) Reflexión, c1) Eje de rotación binario, c2) Eje de rotación ternario, c3) Eje de rotación cuaternario, c4) Eje de rotación quinario, c5) Eje de rotación senario.

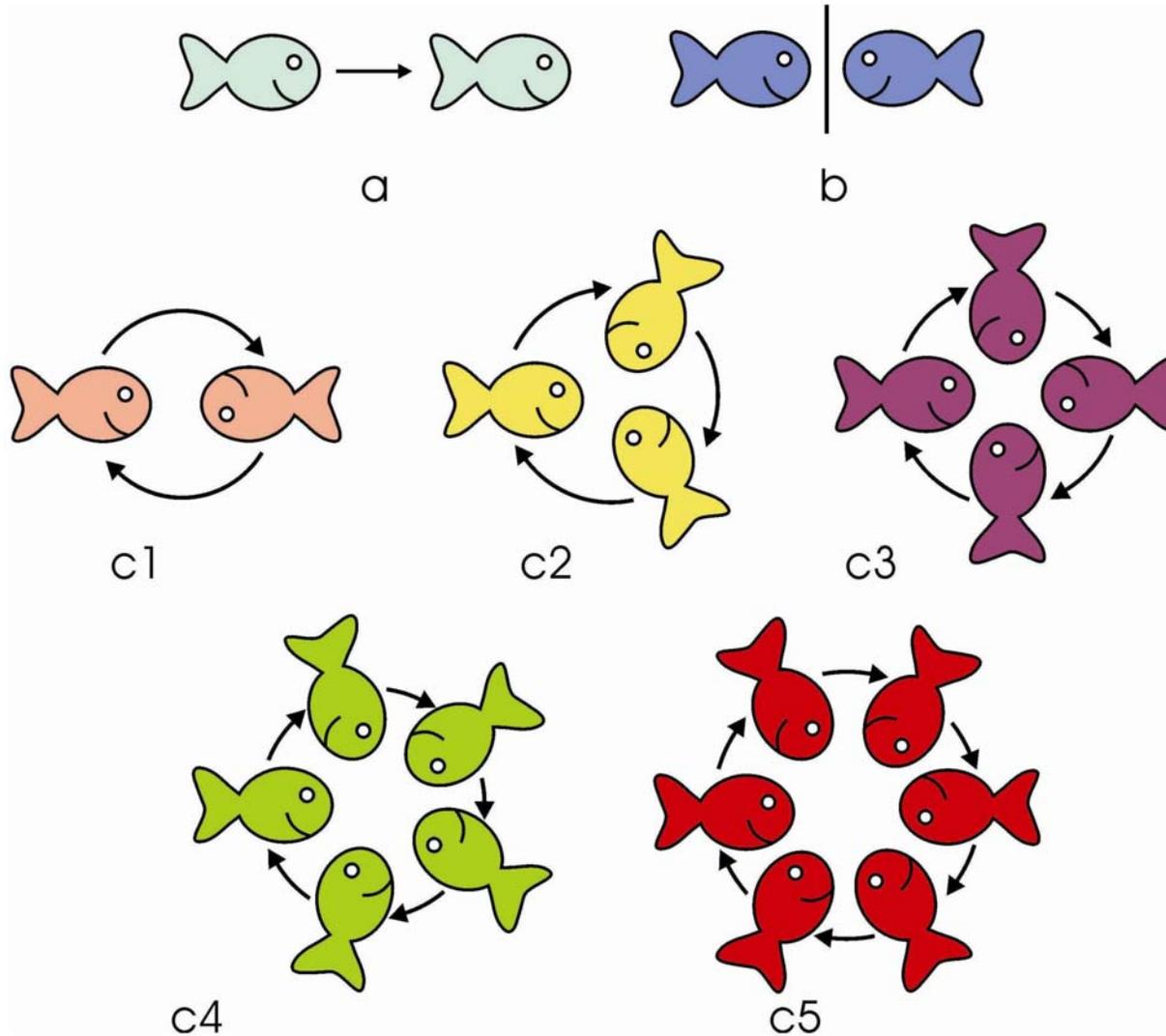
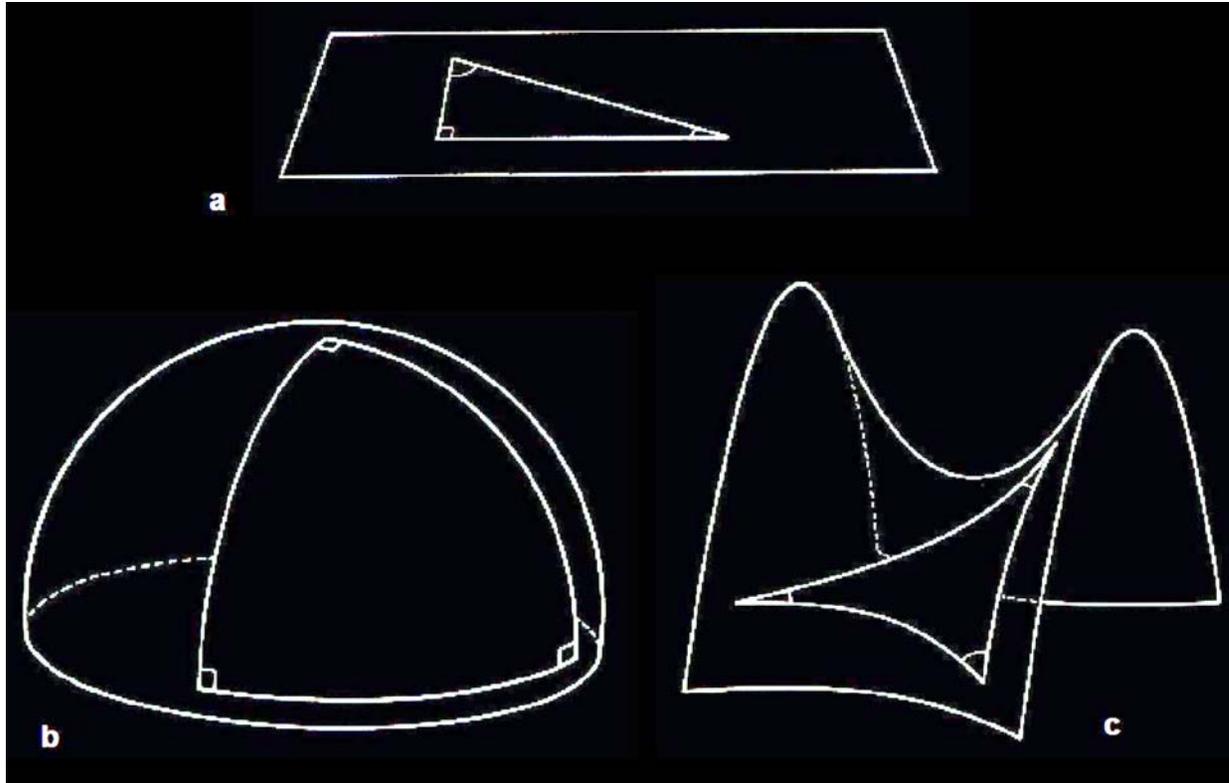
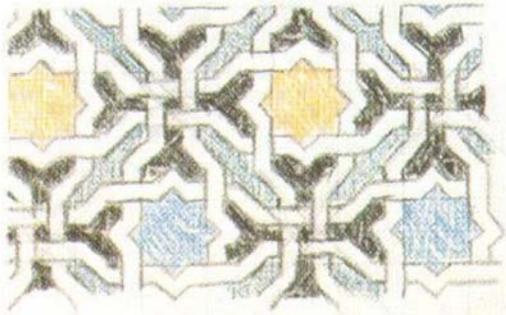


Imagen 17

Distintos tipos de geometrías, euclidea y no euclidianas.

- a) Euclidea, donde la suma interna de los ángulos de un triángulo suman 180;
- b) Elíptica, donde la suma de los ángulos de un triángulo suman más de 180;
- c) Hiperbólica, donde la suma de los ángulos de un triángulo suman menos de 180.





ALHAMBRA
MAJOLICA
24-5-'36



Imagen 18

Apuntes tomados de los mosaicos moriscos de la Alhambra.
Lápiz, lápices de colores y tinta. 1936.

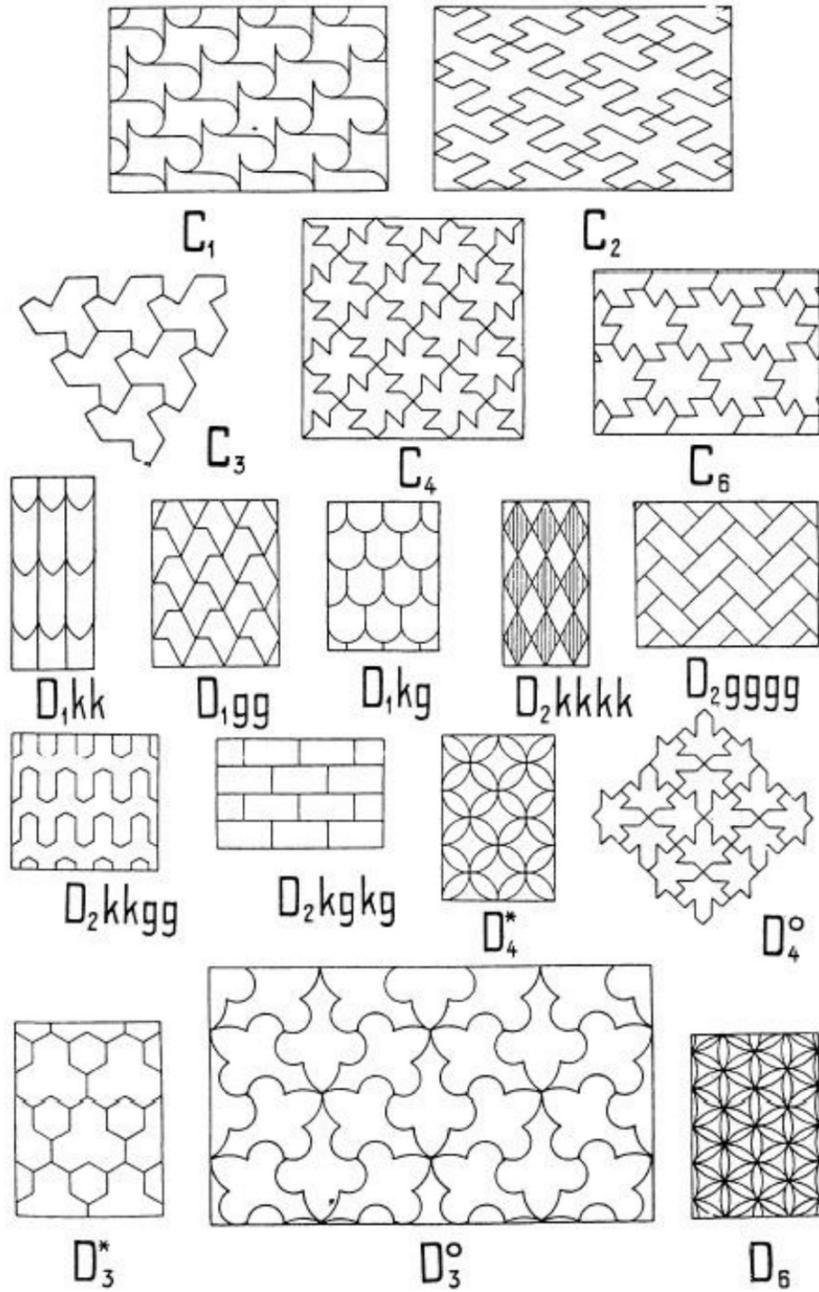
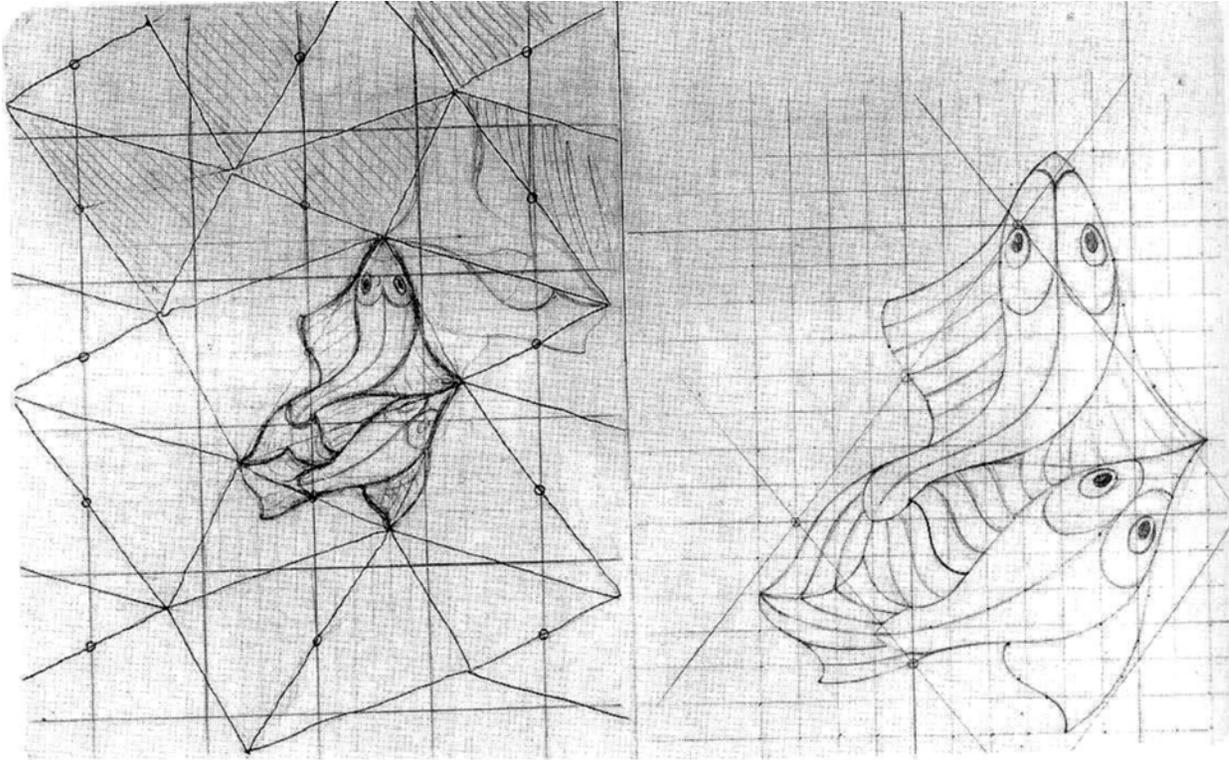


Imagen 19

Ilustración del artículo de Pólya donde se muestran los 17 grupos de simetrías.

Imagen 20

Apuntes para mosaico formado por peces. Se puede observar el esqueleto geométrico previo al dibujo final. Lápiz y tinta. 1942.



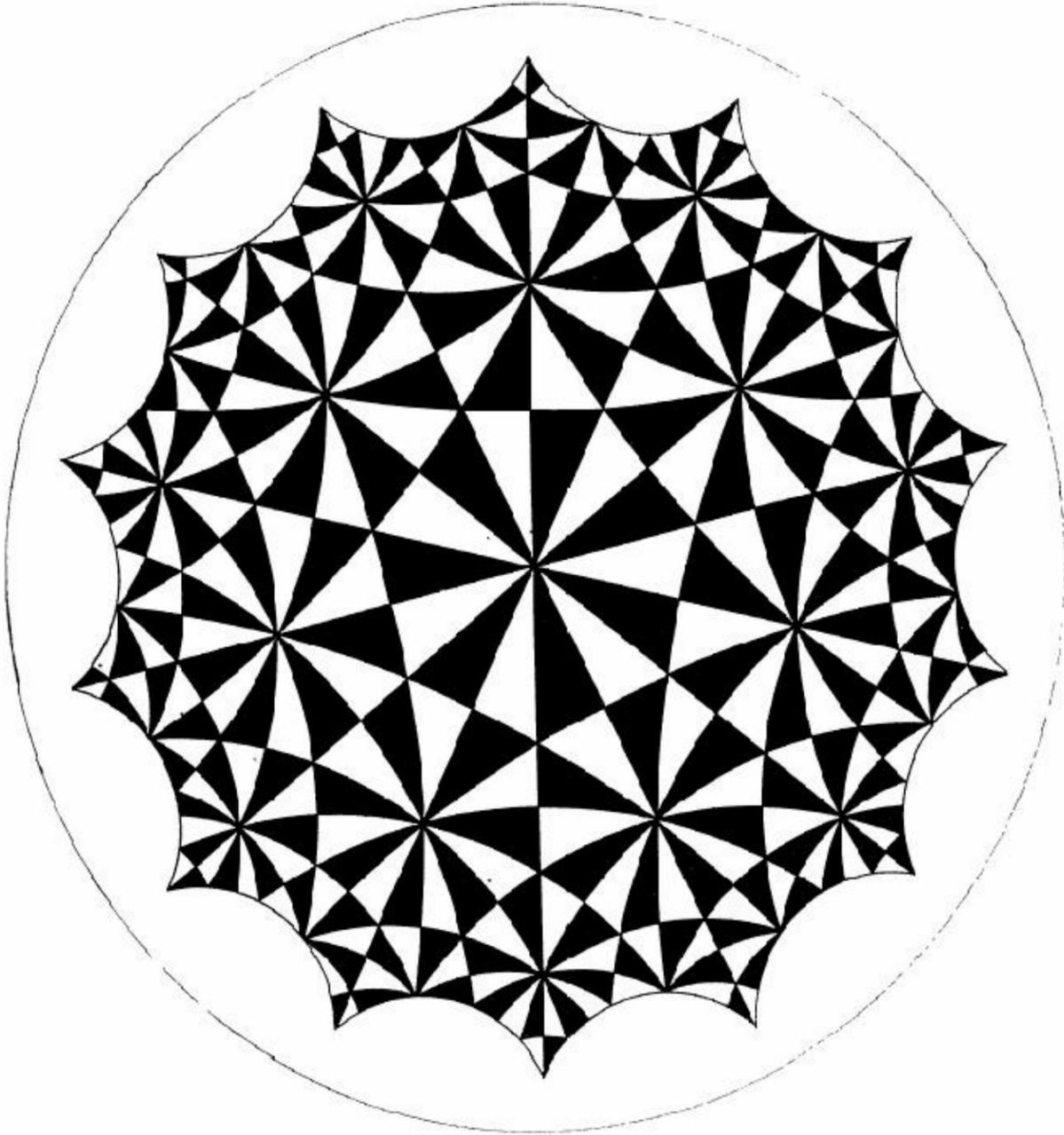


Imagen 21

Ilustración del artículo de Coxeter del disco de Poincaré, donde se representa la geometría hiperbólica.



Imagen 22

Límite Circular I.
Grabado en madera.
1958.

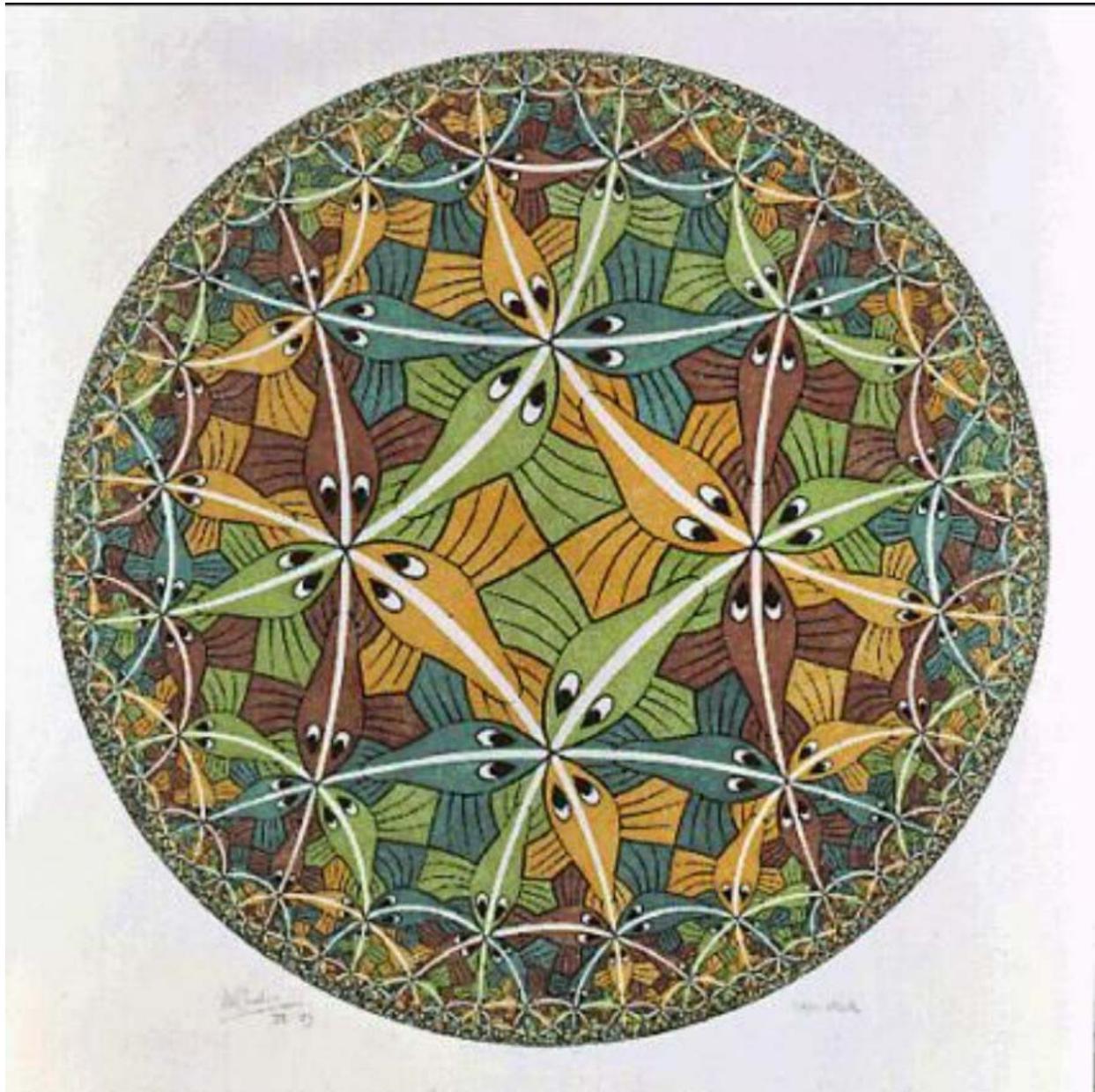
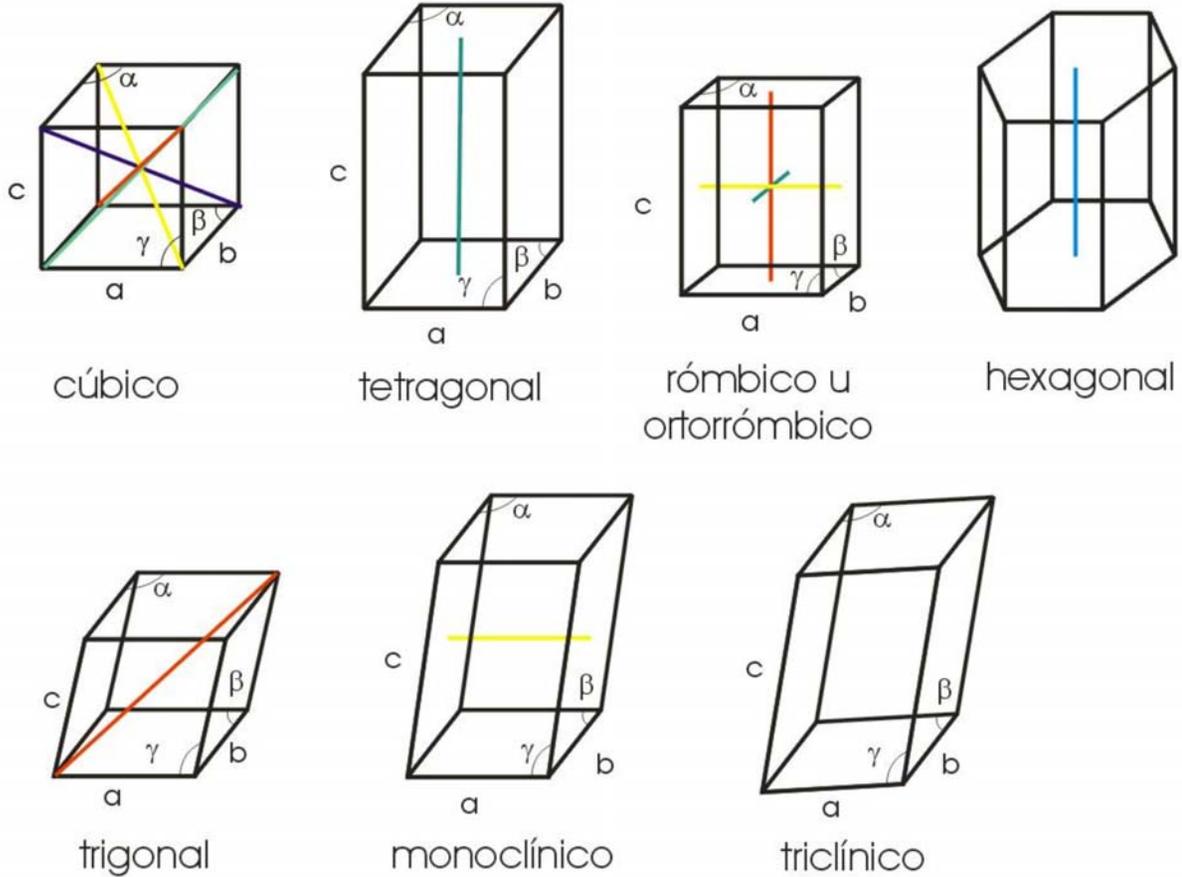


Imagen 23

Límite Circular III.
Grabado en madera
en varios colores,
impreso en bloques.
1959.

Imagen 24

Representación de los siete sistemas cristalinos. Se muestran los ángulos y los parámetros de red que los caracterizan. Las líneas de colores a su vez representan los ejes de simetría característicos de cada uno.



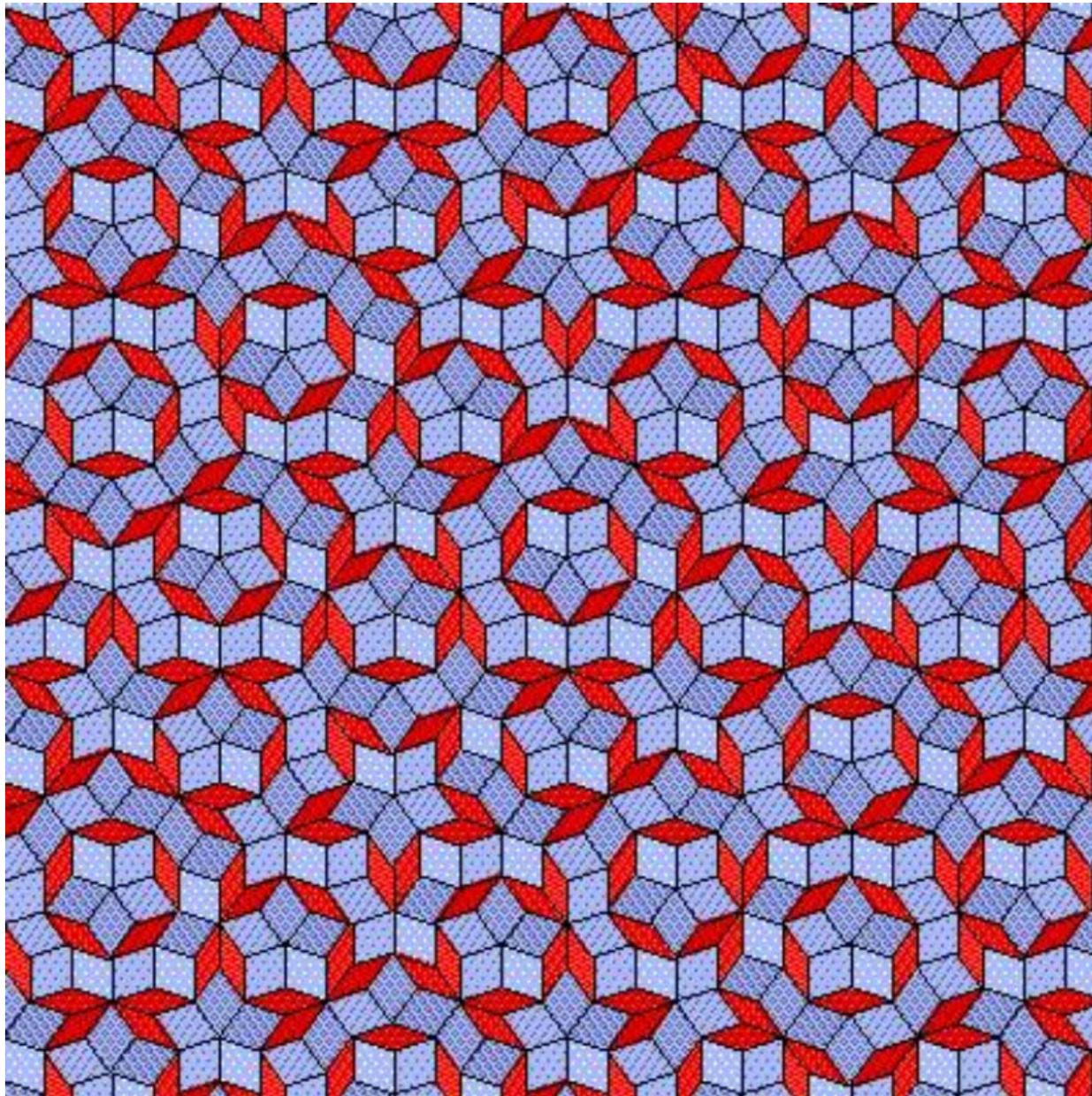


Imagen 25

Mosaico de Penrose.

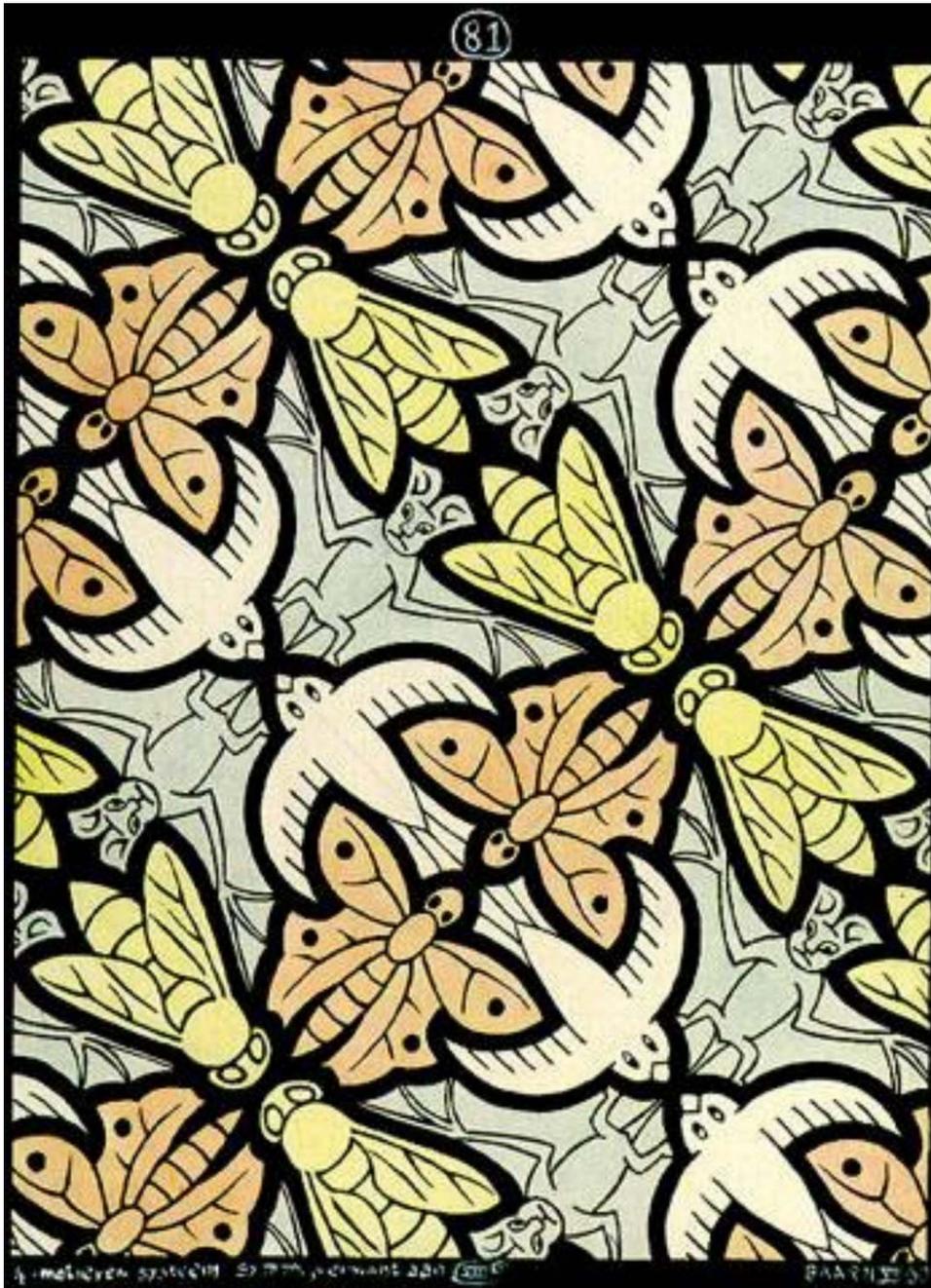


Imagen 26

Mosaico formado
cuatro animales
distintos: paloma,
murciélago, abeja y
mariposa.

Lápiz, lápices de
colores y tinta. 1950.

Los elementos de
simetría de este
mosaico son ejes de
reflexión acomodados
perpendicularmente,
formando así una red
rectangular.

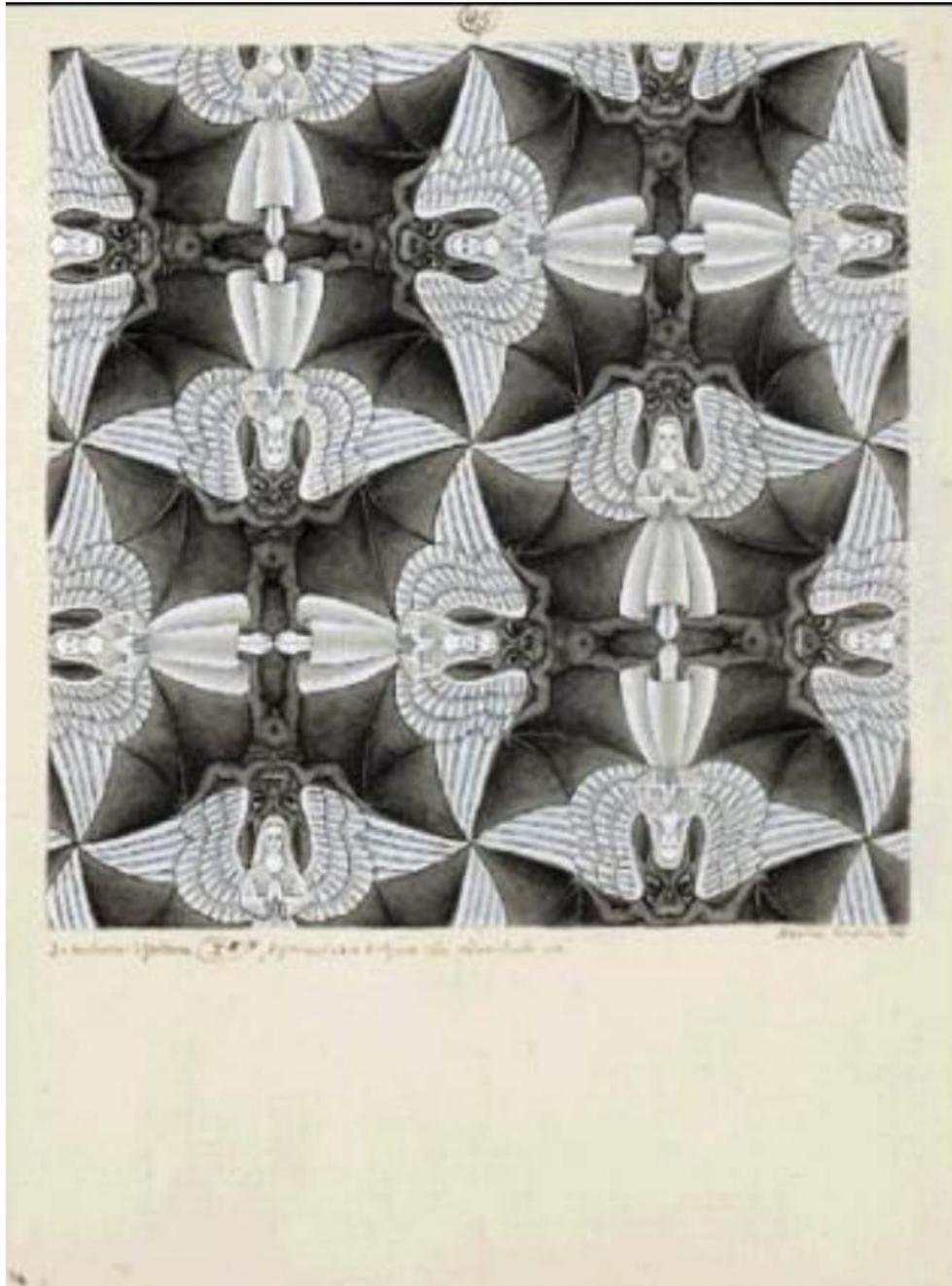
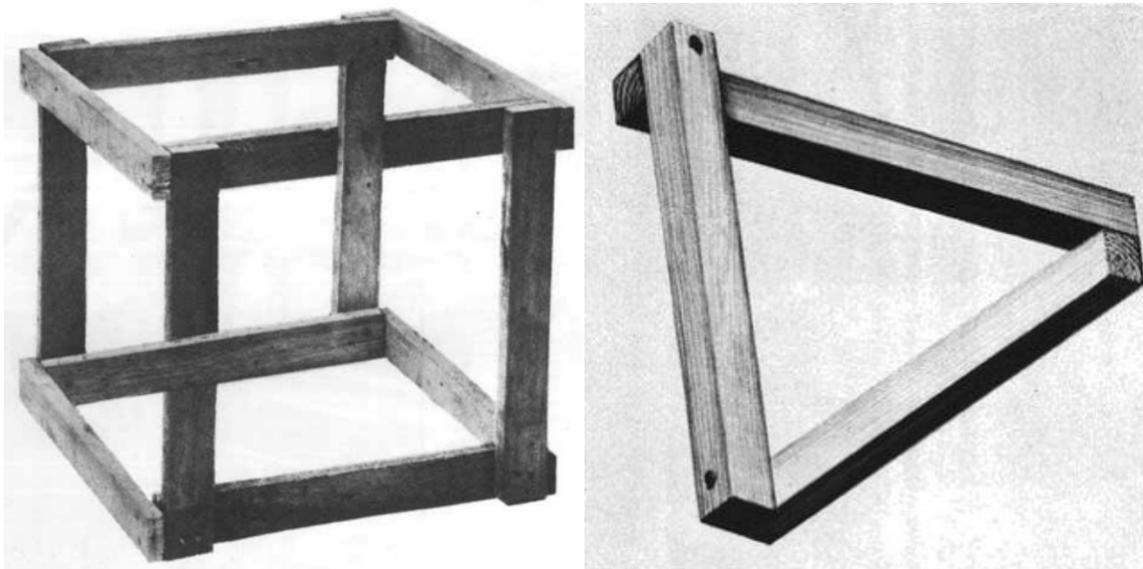


Imagen 27

Mosaico formado por ángeles y demonios. Lápiz, lápices de colores y tinta. 1941.

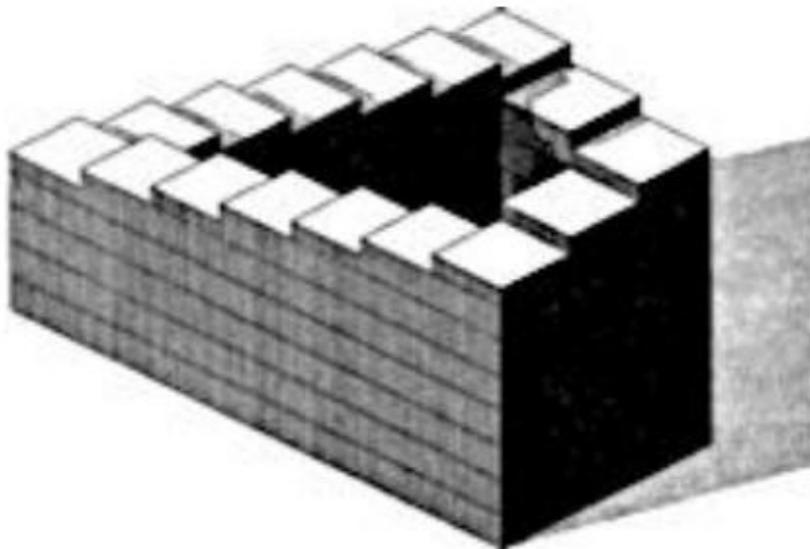
En este mosaico se aprecian ejes cuaternarios en torno a los cuales se acomodan las figuras, siendo éste donde se juntan los vértices de las alas de ambas figuras. Sin embargo, estos se convierten en un par de ejes binarios al estar formados por dos figuras distintas.

Imagen 28



Figuras imposibles:
Jaula, Triángulo y
Escaleras creadas por
el matemático Roger
Penrose.

Estas figuras pueden
ser representadas en
un dibujo, formando
así un juego de ilusión
óptica. Sin embargo,
no pueden ser
construidas de forma
material.



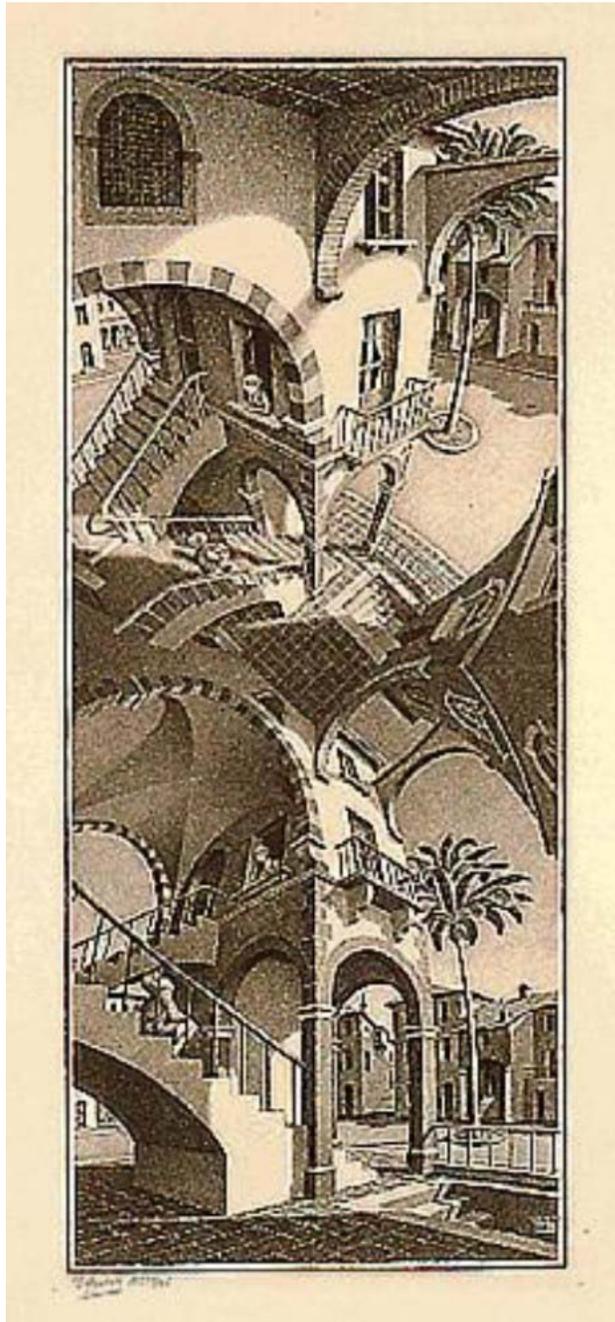


Imagen 29

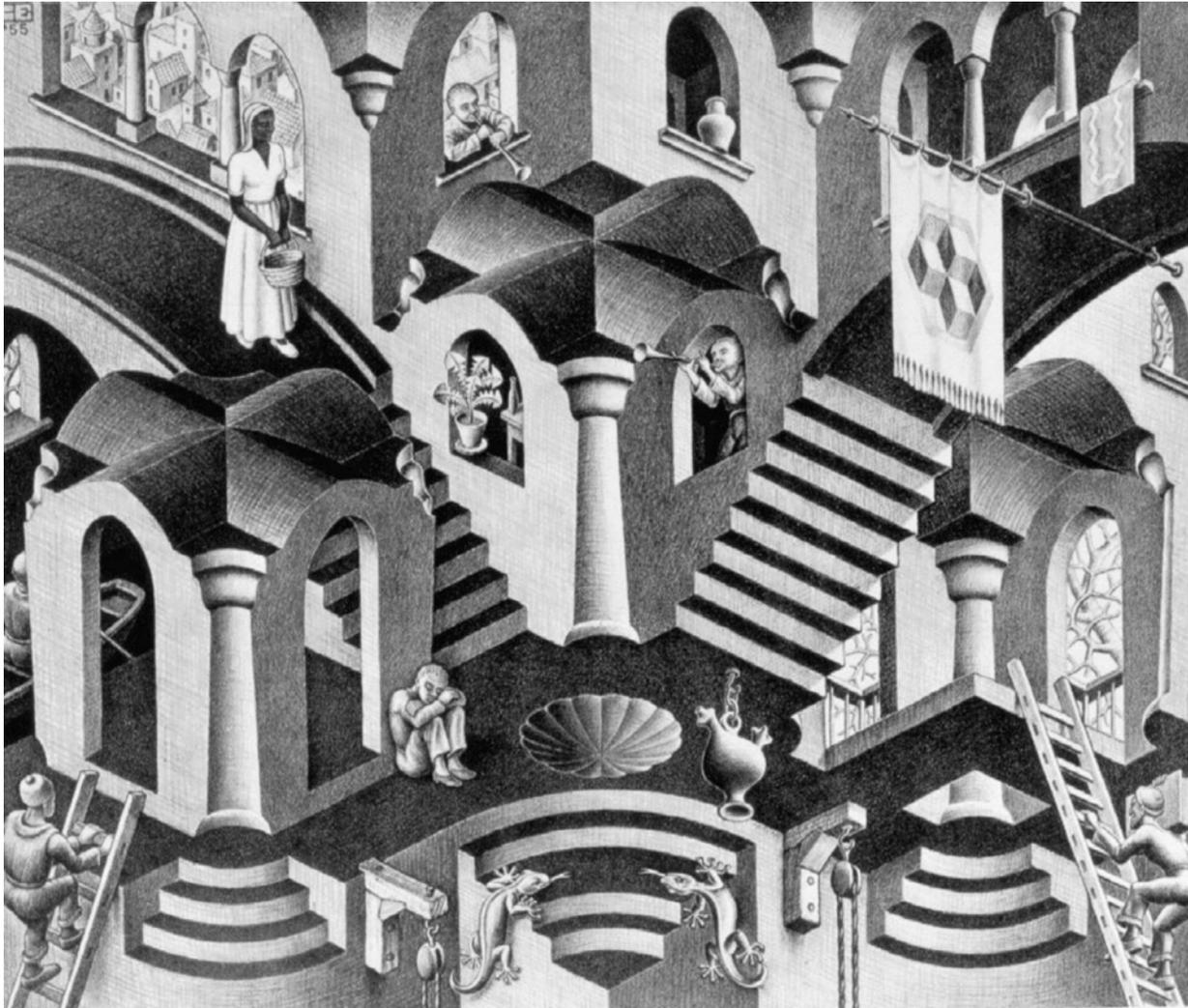
Arriba y Abajo.
Litografía. 1947.

En la mitad inferior de la imagen, Escher utiliza un punto de fuga al cenit, mientras que en la parte superior el punto de fuga se encuentra al nadir; ambas escenas son el mismo edificio en la misma situación pero desde estos dos puntos de vista distintos. En el centro, ambos se conjuntan.

Imagen 30

Cóncavo y Convexo.
Litografía. 1955.

En este grabado Escher juega con la ilusión de tener las figuras convexas, como se aprecian en el lado izquierdo, o cóncavas, como se ven en el lado derecho. En el centro se genera un juego de ilusión óptica, donde la figura central puede verse de las dos formas. Además, el lado izquierdo de la imagen tiene un punto de fuga al nadir, mientras que el lado derecho es al cenit.



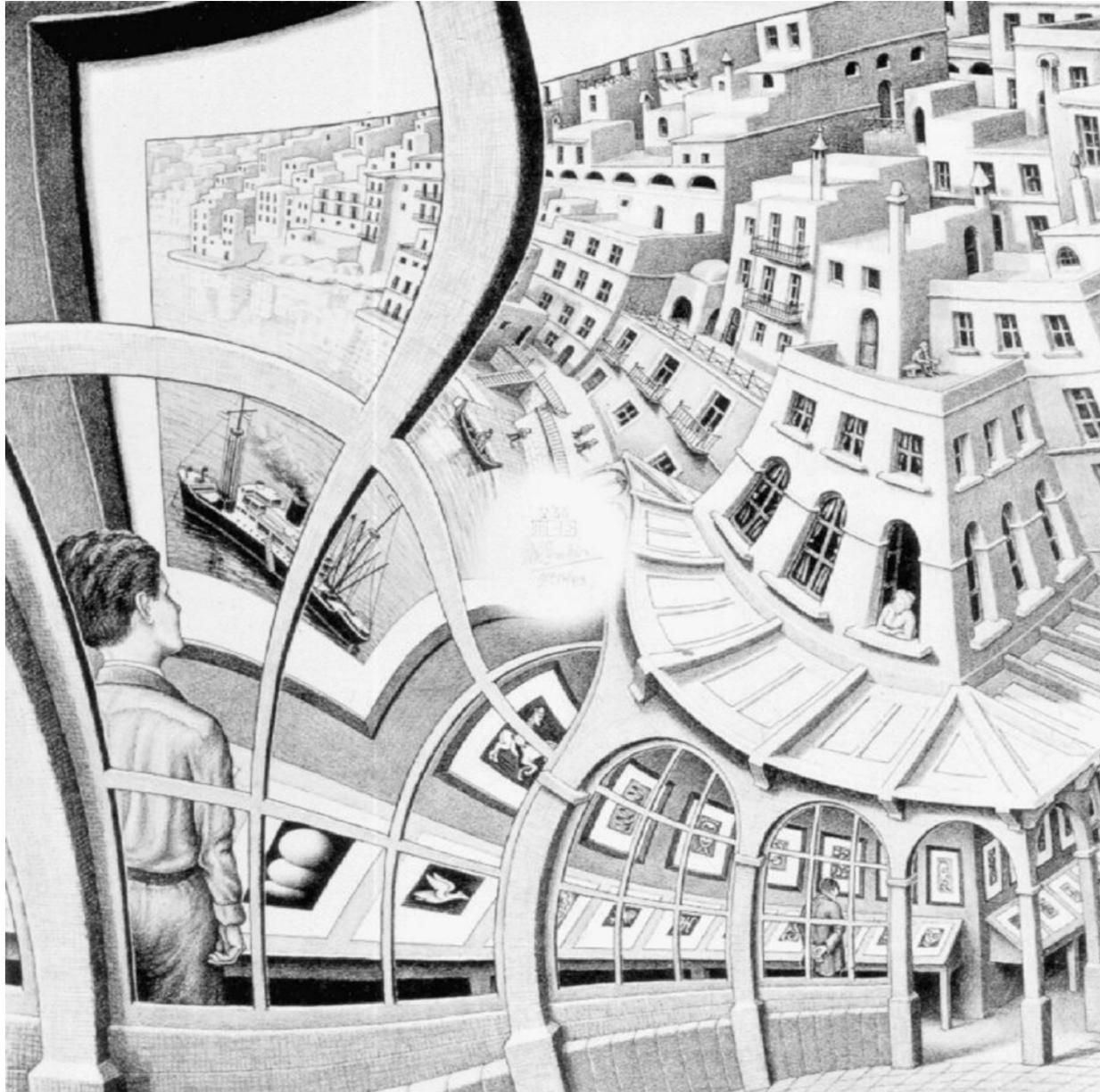


Imagen 31

Galería de Grabados.
Litografía. 1956.

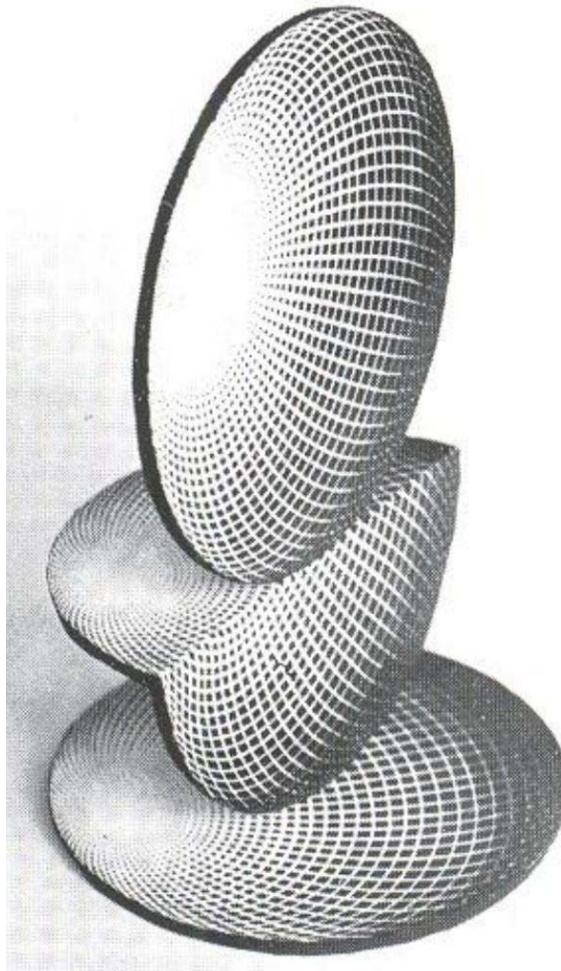
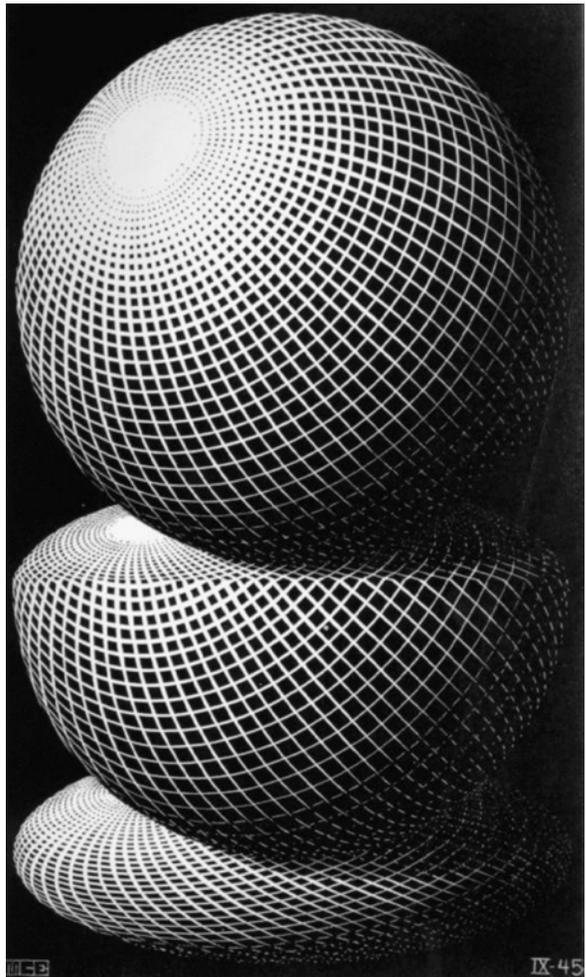


Imagen 32

Tres Esferas I.
Grabado en madera.
1945.

Del lado izquierdo se muestra el grabado original de Escher, mientras que en el derecho, la explicación de la intención real del dibujo al querer representar discos planos en vez de esferas.

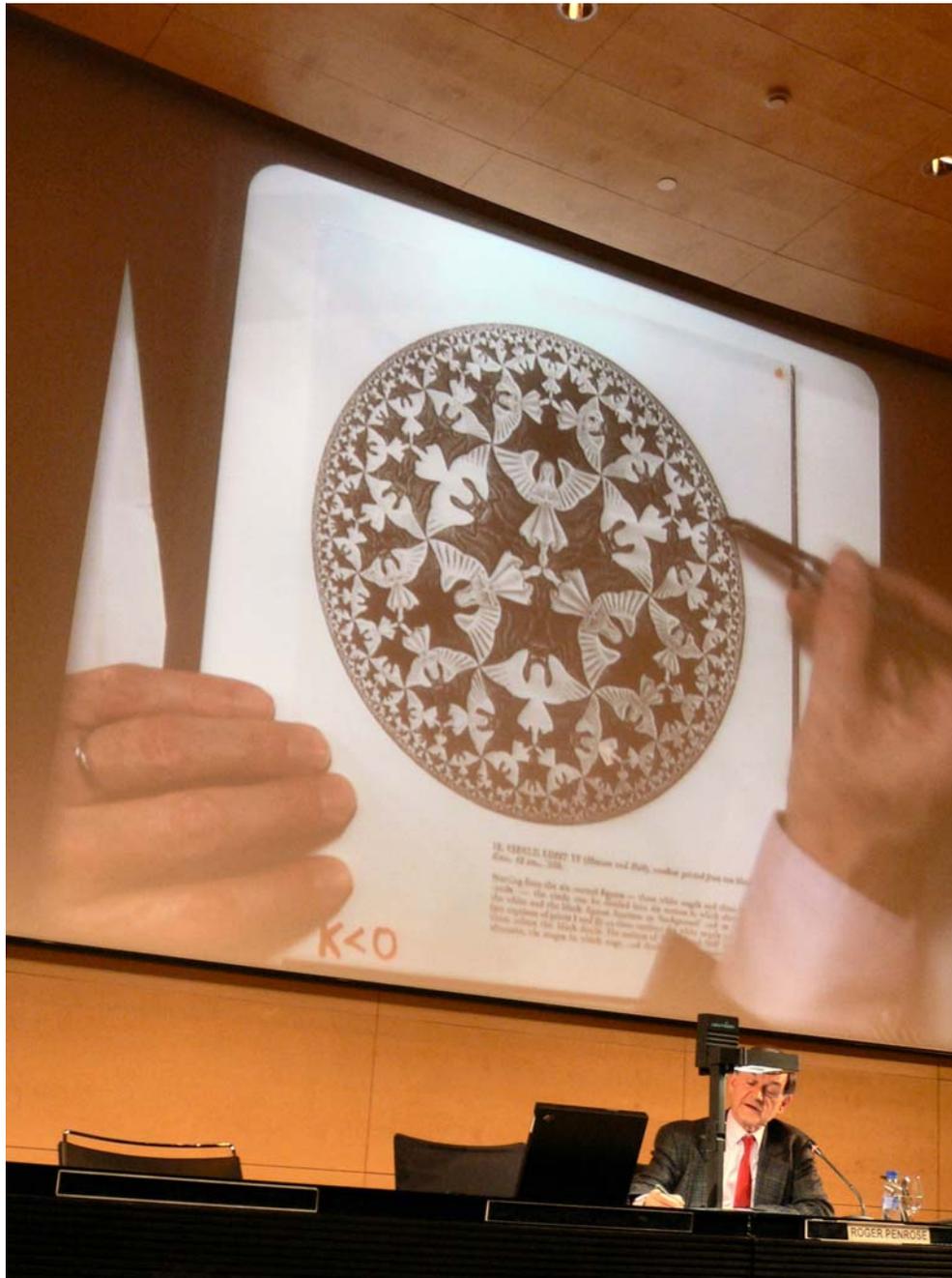


Imagen 33

El matemático Roger Penrose durante una conferencia explicando el mosaico en la litografía de Escher *Límite Circular IV*. Octubre 17 del 2006.