PARQUE de las CIENCIAS
ANDALUCÍA - GRANADA

El Universo de Escher

GUÍA DIDÁCTICA

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD
FECYT
Patronato de la Alhambra y Generalife
CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE
M.C. ESCHER FOUNDATION

El Universo de Escher

GUÍA DIDÁCTICA

M.C. ESCHER FOUNDATION

PARQUE de las CIENCIAS
ANDALUCÍA - GRANADA

Créditos del catálogo

Título *El Universo de Escher*

Edita Parque de las Ciencias, Granada

Autores Roberto Sánchez
Víctor Costa
Vicente López
Carlos Sampedro
Guadalupe de la Rubia
Vicente Fernández
Manuel Roca

Asesoramiento Javier Medina
Paz Posse
Cristina González

Diseño y maquetación Tarma, estudio gráfico

Financiado FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología)
Ministerio de Economía y Competitividad

Agradecimientos Patronato de la Alhambra y Generalife
M.C. Escher Foundation
El Exilio S.L.
Antonio Navarro
Juan Mata
Eduard Viñals
Gloria Martí

Imprime Gráficas Alhambra

ISBN 978-84-943567-1-1
Dep. legal GR?????

© Parque de las Ciencias, 2012
www.parqueciencias.com

Un programa de Planetario sobre Escher

En el año 2011 el Parque de las Ciencias, el Patronato de la Alhambra y la Fundación Escher realizaron una gran Exposición sobre la obra del creador holandés Maurits Cornelis Escher. Se cumplían entonces 75 años de la última visita de Escher a la Alhambra de Granada, una experiencia que, como veremos, marcaría para siempre su extraordinaria obra.

Escher visitó la Alhambra en dos ocasiones: en 1922 y en 1936. Esa segunda visita, supuso un antes y un después en el trabajo de este holandés genial que nos dejó una obra marcada por su profundo interés por disciplinas tan diversas como las matemáticas, la arquitectura o la perspectiva.

Aprovechando su pasión por la Astronomía nos fijamos como segundo objetivo la producción del Programa de Planetario "El Universo de Escher" y de una guía didáctica que permitiera enriquecer el trabajo de todos aquellos que se acercaran con interés a su obra. Este proyecto utiliza las enormes posibilidades de los nuevos sistemas digitales de proyección fulldome, con algún guiño al sistema tradicional de proyección con diapositivas y el planetario óptico.

El programa pretende, sobre todo, dar a conocer su obra y acercar sus creaciones al público de todas las edades, al tiempo que muestra los aspectos más interesantes de su biografía. Pero el "Universo de Escher" supone también el reconocimiento a una persona única que logró unir disciplinas y difuminar falsas barreras, alguien que supo enseñarnos que el mundo del arte y de la ciencia no están tan alejados. La belleza que encierra la geometría o el orden maravilloso de los astros.

Ernesto Páramo Sureda
Director del Parque de las Ciencias

¿Un grabador en el Planetario de un Museo de Ciencia en Granada?

Como en sus metamorfosis y figuras imposibles, M. C. Escher, que visitó Granada en 1922 y 1936, crea con su obra un bucle donde pasado y presente se unen. Mundos hasta entonces imposibles, surgidos de la geometría moderna, fueron ya imaginados y hechos realidad por los artífices de los mosaicos y ornamentos de la Alhambra de Granada.

Geometría y rigor se unen a creatividad e imaginación para generar esos Universos infinitos, tan nuevos, conseguidos con la exploración hasta el límite de las posibilidades que ofrece la división regular del plano para conseguir figuras congruentes que evoquen en el observador una asociación con una figura natural familiar.

¿Qué mejor lugar que un Planetario para mostrar todo eso?

La guía didáctica que presentamos está concebida como material de apoyo para "El Universo de Escher", uno de los programas del Planetario del Parque de las Ciencias.

Consta de un DVD con fragmentos de video, audios del programa y material para experiencias y actividades que te ayuden a completar tus conocimientos sobre la obra de Escher.

Introducción

Cuando la noche se cierne sobre la Tierra, un Universo bello y desconocido se abre ante las personas dejando a la imaginación una libertad sin límites para explorar y descubrir, pensar y soñar, escribir y pintar...

En el Planetario, un cielo limpio de luces y contaminación nos transporta a otros tiempos y lugares.

Esta fascinación que nos embarga cuando miramos de noche el cielo es algo innato al ser humano. A lo largo de la Historia numerosas interpretaciones tratan de describir aquello que sentimos y vemos.

Desde la Filosofía, el Arte, la Ciencia o la Poesía, se han hilvanado teorías sobre el origen y la evolución de un Universo del que además de la energía, el tiempo y el espacio también nosotros formamos parte.

ACTIVIDAD 1

"Contaminación lumínica"

Se llama contaminación lumínica al brillo, o resplandor luminoso, del fondo de cielo nocturno.

Aunque el cielo esté tachonado de estrellas, cuando el lugar es elevado y alejado de ciudades (y otras fuentes de luz) y la atmósfera está limpia de nubes y polvo, el espacio vacío entre estrella y estrella, al que llamamos "fondo de cielo", debe presentarse muy oscuro, casi negro. Por ello los observatorios astronómicos se sitúan preferentemente en montañas altas y aún mejor cuando están rodeadas de desiertos o mar.

La presencia en el aire de pequeñas partículas de polvo en suspensión, humos, y gotitas de vapor condensado (nieblas o neblinas) hace que cualquier luz procedente, ya sea del cielo exterior (Luna, estrellas, planetas, cometas, etc.) o de origen terrestre (ciudades, carreteras, vehículos, fuegos, etc.) sea difractada, o reflejada en todas direcciones, produciendo una luz difusa que se superpone al cielo, subiendo ese "fondo de cielo" por encima de la luminosidad de las estrellas más débiles, que por lo tanto dejaremos de ver.

En el siglo III a.C., cuando Hipparcos hizo su primer catálogo estelar, poniendo nombre y posición a casi mil estrellas visibles, también les adjudicó una "magnitud", correspondiente al brillo aparente de cada una, en una escala de 1 a 6, correspondiendo el 1 ("primera magnitud") a las más brillantes y 6 a las más débiles visibles a simple vista.

En el moderno catálogo de estrellas brillantes de la Universidad de Yale ("Bright Star Catalogue") se recogen unas 9.100 estrellas hasta magnitud 7, en el cielo completo (ambos hemisferios), aproximadamente 6.000 estrellas hasta magnitud 6, de las que sólo estarían sobre el horizonte menos de la mitad en cada momento.

magnitud	nº estrellas	nº total estrellas acumulado
-1	2	2
0	6	8
1	14	22
2	71	93
3	190	283
4	610	893
5	1.929	2.822
6	5.946	8.768

Si pudiéramos contar todas las estrellas que podemos ver sobre el horizonte nocturno, podríamos saber hasta qué "magnitud límite" alcanza la "oscuridad" de la noche, constituyendo esa medida una indicación de la calidad del cielo o en parte, también de la contaminación lumínica.

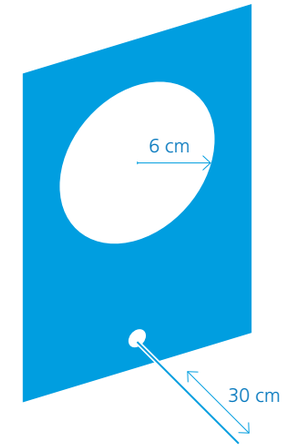
Construcción del contador de estrellas

Se trata de construir un "visor" para contar estrellas. Necesitaremos un folio de cartulina y 40cm de cordel fino. Se recorta un agujero de aproximadamente 12cm de diámetro (un DVD) en el centro de la cartulina. Pasaremos el cordel por un agujero pinchado debajo del círculo. Se anuda cada extremo del cordel a una distancia final entre nudos de unos 30cm.

Uso:

Se sujeta con una mano la cartulina frente a un ojo y con la otra el nudo libre contra la mejilla, tensando el hilo. Así podemos ver un "ángulo sólido" equivalente a la centésima parte de la esfera celeste. Contaremos las estrellas que se pueden ver a través de este visor, apuntando a una misma zona del cielo. Multiplicando por 100 tendremos el número total de estrellas visibles en el cielo. Comparando ese número con la escala de Hipparcos, tendremos también la "magnitud límite", indicadora de la "calidad (fotométrica)" del cielo. El método mejora mucho realizando varias medidas de distintas zonas del cielo para obtener valores promedio.

(El contador se puede construir en panel rígido, con un mango y una varilla separadora de madera)



Con los ojos de Escher

Escher: "Mi trabajo es un juego, un juego muy serio".

Narradora: ¿Quién es este Mauricio Cornelio Escher para quien su trabajo es un juego?

¿Es un matemático, un arquitecto, un artista, un viajero…?

"Todos mis trabajos fueron hechos con la intención de expresar una idea particular. Estas ideas están basadas en mi asombro y admiración por las leyes contenidas en el mundo que nos rodea".

"Para que estos fenómenos nos conmuevan hace falta, sin duda, el talante admirativo de los niños. Y yo lo poseo en abundancia. La admiración es la sal de la tierra".

"¿Quién se admira todavía de que la Luna esté suspendida del cielo? (…)"

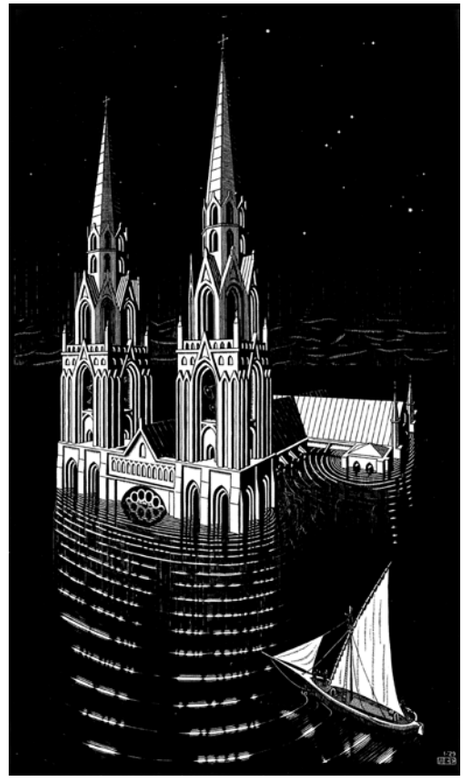
Muy aficionado a la Astronomía, siente la atracción del cielo nocturno y se maravilla de los fenómenos celestes…

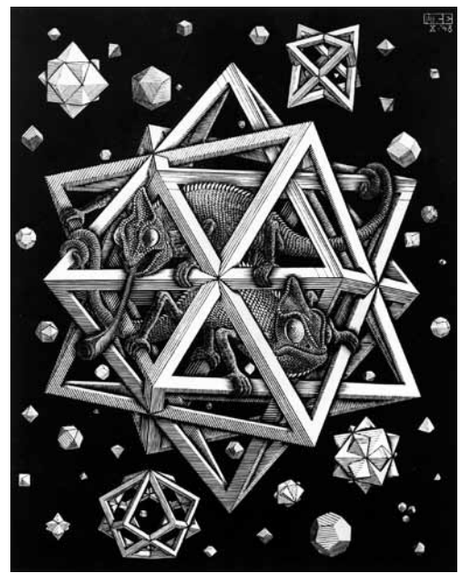
… muestra la constelación de Orión…,

… juega admirablemente con el Sol y la Luna…

… o recrea paisajes de otros mundos con arquitecturas imposibles.

Muestra un Universo de objetos y paisajes, cuyas formas parecen cobrar movimiento.





ACTIVIDAD 2

"Artistas inspirados por Escher"

La visión del mundo tan particular que Escher plasmaba en todas sus obras ha servido como fuente de inspiración a numerosos artistas.

Algunos de ellos intentan reconstruir sus construcciones imposibles y otros tratan de ir más allá e intentan dar continuidad a su interpretación del Universo.

Haciendo una revisión bibliográfica encontrarás un gran número de estos artitas inspirados en Escher. Elige uno y observa sus obras, estudia con detenimiento la que más te guste y coméntalo con el resto del grupo.

ACTIVIDAD 3

"Reconocimiento de constelaciones"

Las constelaciones son figuras de fantasía que asignamos a "grupos de estrellas brillantes" en el cielo y que nos ayudan a identificar dichas estrellas. Históricamente están relacionadas con la mitología y con frecuencia se las representa con figuras de animales. Las estrellas de una constelación soólo tienen posiciones y brillos próximos aparentes. Algunas pueden estar mucho más alejadas que otras y tener magnitudes absolutas muy diferentes, aunque compensando distancia con brillo parezcan de magnitud relativa similar. Hay 88 constelaciones.

El reconocimiento de las constelaciones nos facilita la identificación de las estrellas y la orientación en la Tierra.

Con ayuda de un planisferio celeste podemos identificar las constelaciones y estrellas más brillantes del cielo.

Constelaciones boreales: Hemisferio Norte

Comenzaremos por identificar la Osa Mayor, como constelación guía para encontrar la estrella Polar, situada casi en el eje de rotación terrestre, que es el verdadero Polo Norte celeste y geográfico. Reconocido el "carro" (dentro de la Osa Mayor), solo hay que prolongar el segmento que une a sus dos estrellas más brillantes (Merak y Dubeh) unas cinco veces, para encontrar la estrella Polar.

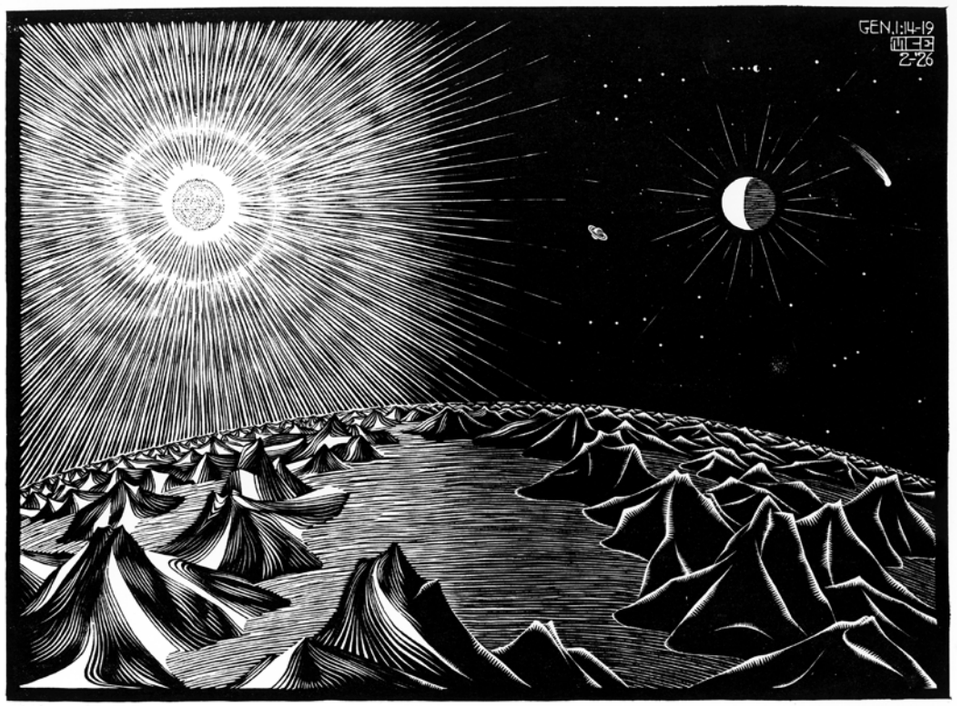
Una vez localizada la estrella Polar es fácil reconocer (si no hay mucha contaminación luminosa) la Osa Menor y la constelación del Dragón.

Como alternativa y/o complemento a la Osa Mayor tenemos la constelación de Cassiopea, también en el grupo de las constelaciones boreales (alrededor del Polo Norte), que nos ayuda a encontrar la Polar.

latín	español
Ursa Mayor	La Osa Mayor
Ursa Minor	La Osa Menor
Draco	El Dragón
Cepheus	Cefeo (padre de Andrómeda)
Cassiopea	Casiopea (madre de Andrómeda)
Camelopardalis	La Jirafa

Constelaciones australes: Hemisferio Sur

latín	español
Octans	El Octante
Tucana	El Tucán
Pavo	El Pavo real
Triangulum australe	El Triángulo austral
Apus	El Ave del Paraíso
Hidrus	La Serpiente marina



Un calendario en el cielo: El Zodíaco

En la zona ecuatorial están las constelaciones del Zodíaco. Es la franja del cielo por donde, aparentemente, transitan el Sol y los planetas. En el siglo V a. C., fue dividida en 12 partes iguales (una por cada mes del año) que recibieron el nombre de la constelación más próxima al sol en aquella fecha. Esto dio lugar al siguiente calendario:

Nº	latín	español	
01	Aries	Aries, el carnero	marzo 21 - abril 20
02	Taurus	Tauro, el toro	abril 21- mayo 21
03	Gemini	Géminis, los gemelos	mayo 22 - junio 21
04	Cancer	Cáncer, el cangrejo	junio 22 - julio 22
05	Leo	Leo, el león	julio 22 - agosto 23
06	Virgo	Virgo, la virgen	agosto 23 - sept 22
07	Libra	Libra, la balanza	sept 23 - oct 23
08	Scorpius	Escorpio, el escorpión	oct 23- nov 22
09	Sagittarius	Sagitario, el arquero	nov 22 - dic 21
10	Capricornus	Capricornio	dic 22 - 20 enero
11	Aquarius	Acuario, el aguador	enero 21 - 19 feb
12	Pisces	Piscis, los peces	feb 20 - 20 marzo

Aries, el primer signo del Zodíaco, comenzaba sus días el 21 de marzo, el primer día del año de muchos calendarios antiguos. Las constelaciones de esta lista son consideradas las más antiguas, teniendo una importancia evidente en la astrología (disciplina que fue la antecesora de la Astronomía y que hoy no guarda ninguna relación con ella). Las fechas de este calendario eran correctas en aquella época. ¿Siguen siéndolo? Intenta buscar las fechas del año en las que el sol pasa por la constelación de Aries actualmente. Puedes ayudarte de un planisferio celeste o algún software de simulación del cielo. La razón de estos cambios se debe al movimiento de precesión de la Tierra

ACTIVIDAD 4

"Escher y la Astronomía"

Escher era un gran aficionado a la Astronomía. En su legado hay referencias directas e indirectas a ella. Incluso en alguna obra muestra algún objeto o algún detalle que sólo los astrónomos iniciados conocen, como cúmulos de estrellas, cometas o estrellas dobles.

Utilizando alguna de sus obras podemos entender conceptos que se han utilizado a lo largo de la Historia de la Astronomía para explicar los diferentes modelos del Universo. Desde los que se utilizaban en la Astronomía clásica de Pitágoras o Platón, hasta los más modernos, utilizados por cosmólogos actuales como Roger Penrose.

Observa las imágenes "Sol y Luna" y "Otro Mundo II" que encontraréis en las páginas centrales

En "Sol y Luna", mira sólo los pájaros blancos ¿qué ves? Y después sólo los azules ¿qué observas ahora?

En "Otro Mundo II", reconoce todos los objetos astronómicos presentes en la obra. ¿Podríais identificar arriba, abajo y los lados?

Poliedros en el Universo

Como los poliedros regulares, que Platón asocia al origen de la Humanidad y del Cosmos.

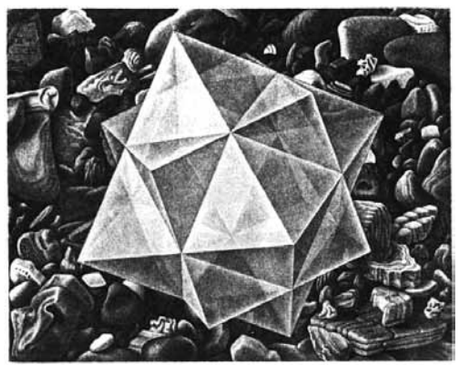
La cosmología pitagórica los asocia a los cuatro elementos fundamentales de la Naturaleza.

Esta concepción pitagórica inspiró a Kepler una Cosmología que relacionaba los cinco poliedros regulares con los seis planetas conocidos. La llamó *El Misterio Cosmográfico.*

También Escher construyó un modelo de este Universo en el que los cuerpos estaban inscritos unos en otros. Estaba tremendamente interesado en la regularidad de los poliedros y cómo ésta se mostraba en las estructuras cristalinas, intuyendo el concepto de fractal.

Escher se maravilla de los cristales en la Naturaleza, de la perfecta simetría de sus formas, su transparencia y su diversidad de colores.

"Mucho antes de que el hombre existiera sobre la Tierra, crecían cristales en la corteza terrestre (…) Hay algo de estremecedor en las leyes que gobiernan las formaciones cristalinas. No son obra del espíritu humano. Son independientes de nosotros – existen simplemente".



ACTIVIDAD 5

"Escher y los cinco cuerpos platónicos"

Siempre el reto, la búsqueda. El interés de Escher por la geometría se nota en muchas de sus obras. El modelo en alambre de los cinco poliedros regulares convexos, los cinco cuerpos platónicos, siempre le acompañaba en sus viajes.

Un poliedro regular es una figura tridimensional limitada por caras que son todas polígonos regulares idénticos. En los vértices de cada poliedro regular confluye el mismo número de caras, sus aristas tienen la misma longitud, los ángulos diedros formados por dos de sus caras son iguales, tienen un centro de simetría, simetría axial, simetría especular… se puede inscribir en ellos una esfera tangente a todas las caras en su centro, y circunscribir otra tangente a todos los vértices.

¡Cuántas regularidades y arcanos que explorar! ¿Podría haber algo más que despertara el interés de Escher por estos poliedros? ¿Por qué sólo hay cinco de estos poliedros en la Naturaleza? ¿Por qué sus caras no pueden tener más de cinco lados?

En un poliedro regular convexo la suma de los ángulos que forman las aristas que tienen un vértice común ha de ser menor de 360º. Si chafamos uno de esos poliedros por uno de sus vértices hasta dejarlo plano, el ángulo central debería ser de 360º por lo que los ángulos formados tomando un vértice común deben tener menos de 360º. Por eso sólo hay cinco cuerpos platónicos:

Tetraedro: 4 caras triangulares

Hexaedro o cubo: 6 caras cuadradas

Octaedro: 8 caras triangulares

Dodecaedro: 12 caras pentagonales

Icosaedro: 20 caras triangulares

A partir de un hexágono regular, con ángulos interiores de 120º, no se puede construir un poliedro regular convexo pues tres caras hexagonales sólo pueden reunirse con un vértice común si se mantienen en un mismo plano (ángulo central 360º). Con cualquier polígono regular de más de seis lados ocurre lo mismo.

En el DVD encontrarás las plantillas para construir los cincos poliedros regulares.

ACTIVIDAD 6

"Kepler y el Misterium Cosmographicum"

Kepler (1571-1630) fue un astrónomo y matemático genial que afianzó la teoría heliocéntrica de Copérnico al descubrir la forma exacta de las órbitas de los planetas del Sistema Solar (elipses muy poco achatadas), los tamaños relativos de las mismas y la velocidad a la que los planetas las recorrían. Estos descubrimientos permitieron a Newton explicar totalmente el movimiento de los astros con su ley de Gravitación Universal. Pero, como todo gran científico, quería saber no sólo el cómo sino también el por qué y, además, estaba influido por las ideas de su época: quería saber la razón de que sólo hubiera seis planetas, de Mercurio a Saturno, los únicos conocidos hasta entonces y la buscó en una supuesta armonía matemática del mundo, una idea de los pensadores clásicos griegos. Curiosamente encontró una difícil relación entre los cinco únicos sólidos regulares y las órbitas de los planetas. Partiendo de una esfera del tamaño de la órbita de Saturno, inscribió en ella uno de los sólidos regulares y dentro de él pudo inscribir la esfera del tamaño de la órbita de Júpiter. Siguió así intercalando sólidos y esferas hasta llegar a la de Mercurio y todo le cuadró perfectamente por lo que interpretó (erróneamente) que sólo podía haber seis planetas porque sólo hay cinco sólidos regulares.

Infórmate y completa el cuadro siguiente:

Planeta	Sólido regular
En la órbita de Saturno inscribir un	_____
En la de Júpiter inscribir un	_____
En la de Marte inscribir un	_____
En la de Tierra inscribir un	_____
En la de Venus inscribir un	_____

en el cual podemos inscribir la órbita de Mercurio.

Los genios también se equivocan pero Kepler estuvo muy satisfecho de su hallazgo y, afortunadamente, no vivió la invención del telescopio y el posterior descubrimiento de Urano y Neptuno que echaron por tierra su Misterio Cosmográfico.

ACTIVIDAD 7

"La magia de los cristales"

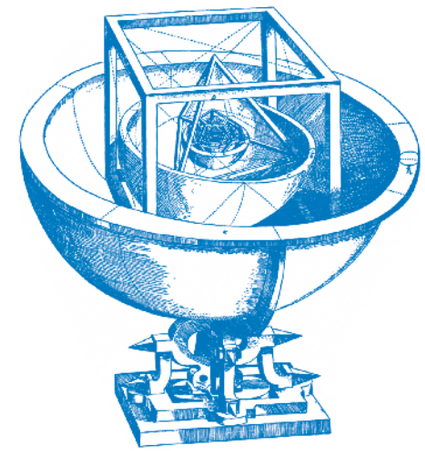
Los cristales se forman a partir de una celdilla básica que se repite periódicamente en tres direcciones perpendiculares del espacio. La disposición y forma de organizarse de esas partículas, depende de la composición y características de la sustancia de que se trate pudiéndose originar estructuras de gran belleza que lógicamente resultaban muy interesantes para Escher.

Puedes observar algunos cristales con lupa o incluso al microscopio y seguramente descubrirás formas que no imaginas.

Si quieres puedes preparar tú mismo algunos cristales. Para ello te sugerimos que prepares disoluciones saturadas en agua templada o caliente de algunas sustancias como sal común, sulfato de cobre o nitrato de potasio. Filtra y coloca la disolución, con el equipo de laboratorio adecuado y la supervisión de un adulto, en algún recipiente abierto de boca ancha (una placa de Petri, un cristalizador, un plato hondo).

Deja la disolución reposando durante varios días en un lugar donde no se mueva y donde apenas cambie la temperatura. Analiza los cristales que obtengas y trata de identificar en ellos formas geométricas, ejes o planos de simetría, etc.

Puedes incluso ver cómo crecen algunos de esos cristales. Si colocas en el portaobjetos de un microscopio una gota de alguna de las disoluciones anteriores verás que el agua se evapora rápidamente y que se van formando cristalitos muy pequeños organizados en redes, casi como si fuera un caleidoscopio.



Escher viajero

Escher, nacido en Holanda en 1898, viaja por Italia y se entusiasma con sus paisajes. Pueblos cortados a pico sobre escarpadas rocas, pueblos costeros donde resaltan las cuestas empinadas y calles en escalera.

En su primer viaje a España, la Alhambra le impresiona profundamente, en especial las figuras geométricas de los azulejos y las yeserías. Escribe en su diario:

"Esta mañana estuve en la Alhambra. Disfruté plenamente de esta sublime y aristocrática obra de arte. Por la tarde regresé allí otra vez y empecé a copiar los adornos de los azulejos. Los árabes alcanzaron una gran maestría en el arte de rellenar superficies con figuras que se repiten sin dejar un solo hueco libre (…)".

Estas visitas darán un vuelco a su trabajo. A partir de ellas se dedicará a lo que llamó "la partición regular del plano" insuflando vida en la pura geometría.

"La partición regular de la superficie es la fuente más rica de inspiración que jamás haya encontrado, y muy lejos está todavía de haberse agotado (…)".

¿Cómo consigue Escher este efecto? Con polígonos regulares no es difícil.

Recurre a las matemáticas y lo hace mediante traslaciones…, simetrías…y rotaciones.

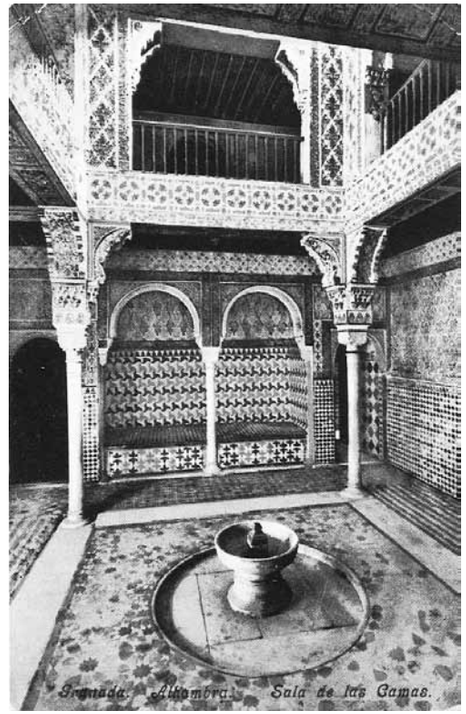
Pero si se deforma el polígono y repite el procedimiento se obtienen resultados de mayor belleza.

"Es una lástima que el Islam prohíba las imágenes. Por ello, en sus mosaicos se limitaron al empleo de formas geométricas abstractas. Ningún artista árabe se atrevió a usar figuras reconocibles –pájaros, peces, reptiles, hombres- como elementos decorativos."

Sin embargo, Escher lo consigue admirablemente.

"(…) Aunque no dispongo de una formación en las ciencias exactas ni de conocimientos especializados, a menudo me siento más próximo a los matemáticos que a mis colegas de profesión".

¿Cuál era su profesión? No fue arquitecto, ni astrónomo, ni geólogo ni matemático.



PARA SABER MÁS

No existe tal prohibición en el Corán, aunque la importancia que se da al mensaje en el Islam hace de la escritura un elemento esencial en la ornamentación de puertas, paredes, fuentes y elementos arquitectónicos diversos. Sin embargo en la propia Alhambra se pueden ver figuras animales en el Patio de los Leones o en el Jarrón de las Gacelas, e incluso figuras humanas en las pinturas del Partal. En todo el mundo musulmán (Persia, Siria, Egipto…) se conservan ejemplares del Corán con ricas ilustraciones donde se ven animales (lobos, leones, pájaros…) o vegetales. También son muchos los utensilios, cerámicas, cajas de marfil, juegos, jarrones, braseros, donde se identifican animales y plantas.

ACTIVIDAD 8

"Escher estuvo allí"

Con la ayuda de Street View de Google Maps, os proponemos que localicéis **Amalfi** y **Atrani**, los lugares que Escher plasmó en dos de sus grabados de paisajes más conocidos. Una vez localizado el lugar exacto, tratad de buscar la misma perspectiva desde la cual se inspiró para realizarlos. Las imágenes de los grabados podéis encontrarlas en las páginas centrales.

ACTIVIDAD 9

"Escher y la Alhambra"

Escher fue un artista inusual decidido a resolver problemas que parecían interesar más a los matemáticos que a los artistas.

Tras su primer viaje a Granada en 1922 quedó impresionado por la forma en que los artesanos de la Alhambra habían logrado la división regular del plano para conseguir figuras congruentes que evoquen en el observador una asociación con una figura natural familiar.

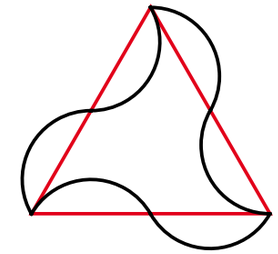
Le inspiraron tanto los mosaicos de los palacios nazaríes que se dedicó a estudiar las relaciones matemáticas que aparecían en ellos y a romper las limitaciones que imponía el plano al arte. Buscaba un mecanismo, presente en muchas de sus obras, que permitiese alcanzar un plano sin límites de mundos que se transforman sucesivamente unos en otros.

Repitiendo y combinando giros, simetrías o traslaciones de figuras geométricas sencillas se creaban otras nuevas con las que rellenaban perfectamente, sin dejar hueco alguno, toda una pared, un mosaico o un techo.

Construcción de la pajarita nazarí, huesos y pétalos

(Podéis descargar las plantillas de pajarita, peces, y lagartos del disco adjunto a la guía)

Entre los motivos ornamentales más comunes en los palacios de la Alhambra están la pajarita nazarí, la escama o el hueso que aparecen en las siguientes imágenes. ¿Podríamos nosotros hacer algo parecido siguiendo las secuencia de operaciones que se te dan a continuación? Anímate a intentarlo:



Partiendo de un triángulo equilátero, se recorta un fragmento de un lado como indica la figura y se añade en el mismo lado mediante un giro de 180º con centro en el punto medio del lado en cuestión.

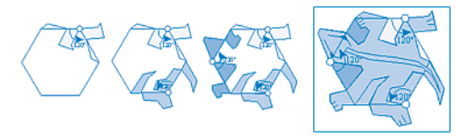
A primera vista cuando observamos un mosaico puede parecer que no tienen que ver con polígonos regulares. Observa que del mismo modo que la pajarita, se obtienen los huesos o pétalos… ¿Cómo los harías?

ACTIVIDAD 10

¿Cómo son los mosaicos de Escher?

En general se basan en la repetición de una sola pieza que, aunque tenga una forma extraña e irregular, encaja perfectamente con otras. Escher partía de una pieza triangular, cuadrangular o hexagonal que transformaba recortando un trozo de ella y volviendo a pegarlo manteniendo el principio de encaje. Escher fue un maestro en la producción de teselaciones hechas a partir de teselas en forma de figuras humanas o de los más diversos y extraños animales.

La siguiente imagen muestra cómo obtendríamos a partir de un hexágono regular el lagarto de Escher:



En el dibujo de los reptiles, se elimina una parte de un lado del polígono para añadirla a otro lado aplicando una traslación y un giro de 120º. Repitiendo este par de acciones se obtiene la figura.

Todas las figuras obtenidas tienen la misma área que el polígono original y heredan la propiedad de recubrir el plano. Igualmente podríamos conseguir el pez volado.

Cosmología

La antigua concepción pitagórica de un Universo formado por cinco poliedros regulares puede considerarse como un buen punto de partida de una Cosmología. Aunque antigua e imprecisa está basada en la observación, que es la esencia del Método Científico.

El Universo se formó hace unos 14.000 millones de años. El Big Bang resulta algo difícil de explicar para las matemáticas y lo llamamos singularidad. A partir de ella nació el Universo y con él, el espacio y el tiempo. Pero el Universo, en constante expansión, no tiene centro.

Con la obra de Escher *División Espacial Cúbica* podemos entender este concepto. Si nos situamos en cualquiera de los cubos que marcan las uniones de la red que se expande, parece que todo se aleja. Es lógico pensar que estamos en una posición especial: el centro de expansión. Lo mismo parecería desde cualquier lugar del Universo: cada grupo de galaxias está alejándose de nosotros y entre sí.

Algunas de las grandes cuestiones planteadas sobre el Universo, si es finito o infinito, plano o curvo, podemos verlas reflejadas en grabados de Escher. En ellos, una misma estructura se reproduce cíclicamente reduciéndose hasta el infinito manteniendo invariable su forma.

Con las mismas figuras, como describe el astrofísico Penrose, Escher recrea la geometría de un espacio plano, de uno curvo finito y de uno curvo infinito.

"En mis obras intento atestiguar que vivimos en un mundo ordenado y bello… y no en un informe caos, como a veces parece."

Percepción

Escher juega maravillosamente con la perspectiva como en esta "Cascada", con la que si fuera posible construirla realmente, tendríamos una fuente perpetua y gratuita de energía…

…o en su famoso "Belvedere" de dos plantas paralelas y perpendiculares a la vez…

…y en su obra "Arriba y Abajo" que une en una sola imagen los puntos de vista simultáneos de dos observadores que miran desde el suelo y el techo.

ACTIVIDAD 11

"La simetría en Escher"

En nuestro programa de Planetario se habla a menudo de traslaciones, simetrías, ejes, planos de simetría... ¿Puedes encontrar algún plano o planos de simetría en las siguientes letras? ¿Cuáles? ¿Por qué crees que son planos de simetría?

PARA SABER MÁS

Desde los primeros tiempos los humanos han observado el cielo. Sumerios, caldeos, egipcios, chinos, mayas… han elaborado teorías sobre el Universo buscando armonizar sus ideas religiosas con la explicación de la realidad circundante. La Tierra se supone sostenida por elefantes de pie sobre una gran tortuga (China), Atlas sostiene sobre sus espaldas los pilares de la Tierra (Grecia), Nut, la diosa, es la bóveda celeste (Egipto) …

Junto a hermosas leyendas también se dan enfoques más prácticos que llevan a elaborar calendarios y mapas estelares con los que definir ciclos agrícolas, predecir eventos como los eclipses o facilitar la orientación de los viajeros.

Los griegos aprovechan esos conocimientos para elaborar modelos del Universo y explicar el movimiento de los planetas basándose en la aplicación de las matemáticas a las observaciones y medidas realizadas. Sus ideas se trasmiten al mundo occidental durante la Edad Media gracias a viajeros y estudiosos judíos y musulmanes, con lo que se gesta una imagen del Universo caótico al principio y ordenado después, con existencia del mundo de las estrellas, los planetas … las siete esferas celestiales…

Las discusiones sobre la esfericidad de la Tierra y su lugar en el Universo, el desarrollo de métodos matemáticos e instrumentos de observación, llevan a verdaderas revoluciones científicas, la copernicana y la newtoniana, que abren paso después, con las ideas relativistas, a las visiones más actuales sobre el Universo.

El interés de Escher por las matemáticas y la geometría, la posibilidad de combinar hasta el infinito distintos elementos geométricos, lo hacen más cercano a visiones cosmológicas griegas y posteriores, Los avances actuales, la exploración espacial y los medios técnicos disponibles, permiten ver hoy imágenes espectaculares de planetas, galaxias, cometas… ¿Te imaginas lo que habrían podido sugerir a Escher estas imágenes?

PARA SABER MÁS

Haciendo un análisis del espectro de la luz de las galaxias, observamos que se produce un desplazamiento hacia el rojo. Este progresivo corrimiento al rojo que se observa en las galaxias más lejanas indujo a Edwin Hubble, en 1929, la idea de la expansión del Universo.

Mundos simultáneos, mundos imposibles

También se interesa por las nuevas ideas físicas que aparecen en su tiempo, como la relatividad y la gravitación y charla sobre ellas con amigos científicos.

En "Otro Mundo" nos plantea la relatividad de la vertical. ¿Cuál es el suelo? ¿Cuál el techo? ¿Cuáles son las paredes laterales?

Usando esta misma idea, Escher nos presenta su litografía "Relatividad"

"Tres planos gravitacionales distintos se influyen respectivamente en sentido vertical. Tres superficies, sobre cada una de las cuales viven personas, se cortan en ángulo recto. Dos habitantes de mundos distintos no pueden andar sobre el mismo suelo, estar sentados o de pie, ya que no coinciden las ideas que tienen de lo que es horizontal o de lo que es vertical. No obstante, pueden utilizar la misma escalera. En la escalera superior, dos personas se mueven en la misma dirección. Pero una sube y la otra baja. Parece imposible que puedan llegar a establecer algún tipo de contacto entre sí: viven en mundos distintos y nada saben de la existencia del otro".

Respecto a su obra "Galería de retratos", un magnífico ejemplo de su intuición matemática, nos cuenta:

"Dos personas muy eruditas, (…), trataron de convencerme (…) de que había dibujado una superficie de Riemann. Dudo que tengan razón, (…), Riemann está más allá de mis posibilidades, (…) Lo que yo traté de representar era solamente una superficie que se hincha, de forma anular, sin principio ni fin".

Y sin embargo esta obra, sigue hoy en día provocando admiración y debate entre los matemáticos.

Final

Escher fue pues, un artista maravillado por la naturaleza que le rodeaba, asombrado por la belleza de los paisajes, de los cristales y su perfecto orden, de las matemáticas y la astronomía, de la nueva física de principios del siglo XX, un artista capaz de expresar simultáneamente la regularidad y la diversidad.

"La quietud y el movimiento"

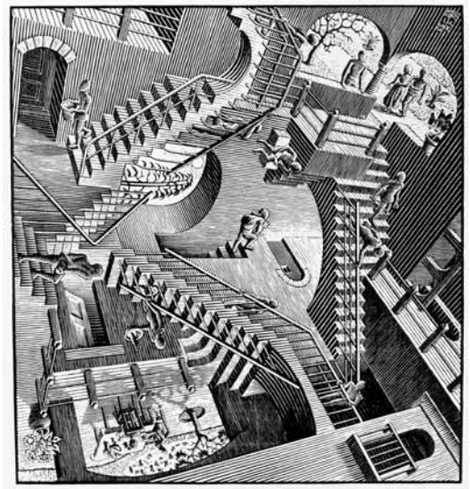
el principio y el fin

el "Día y la noche"

Y qué mejor para terminar que sus propias palabras:

"(…) Son tan hermosas y puras las cosas que quiero expresar."

"Así es que intentemos escalar la montaña, no para poner los pies sobre lo que está debajo de nosotros, sino para alzarnos hacia lo que está por encima de nosotros, que en mi caso son las estrellas."



ACTIVIDAD 12

"Metamorfosis"

De lo geométrico a lo figurativo, de lo inorgánico a lo orgánico… Las imágenes se transforman, Escher juega con un amplio despliegue de opciones en su obra Metamorfosis, imágenes en un proceso de cambio continuo.

Os proponemos contar el número de imágenes diferentes que muestra el fragmento de la obra de "Metamorfosis" de Escher que encontraréis más abajo. ¿A qué conclusión llegas?

Si te animas, intenta localizar todas las imágenes diferentes de la obra completa "Metamorfosis II" que encontraás en las páginas centrales.

PARA SABER MÁS

La publicación de la teoría de la relatividad de Albert Einstein en los primeros años del siglo XX (Relatividad especial en 1905 y Relatividad general en 1915) supone la aparición de un nuevo paradigma, una nueva revolución científica en el campo de la física y demás ciencias, pero influye también en campos aparentemente tan alejados de ellas como el arte, la filosofía, la literatura, etc.

Tratando de armonizar la mecánica clásica con las leyes del electromagnetismo de Maxwell se llega a una nueva visión de la Física, la Teoría de la Relatividad, que significa un cambio radical en la forma de entender y explicar el Universo y sus leyes, basada hasta entonces en la mecánica clásica de Newton.

Espacio y tiempo dejan de ser considerados como invariantes absolutos, como marcos inmutables donde transcurren los fenómenos, para convertirse en coordenadas que pueden variar según la velocidad con que se mueven los objetos. La presencia de materia puede curvar la dimensión espacio-tiempo, el concepto de simultaneidad cambia y la idea de realidad, más que con algo fijo, con lo que es, con lo que existe, se asocia con la visión que tenga de ella el observador.

Todo se tambalea. La Teoría de la Relatividad supone una conmoción en el mundo científico pero también, por cuestionar algunos de los absolutos considerados hasta entonces intocables, da un cierto respaldo a movimientos artísticos que plantean formas no ortodoxas de mirar e interpretar la realidad. Se rompe la linealidad temporal en el teatro y en la literatura: ¿qué es antes? ¿y después? Con el impresionismo se pierde la nitidez, el cubismo reúne en una sola figura a distintos puntos de vista sobre un mismo objeto pero… ¿cuál es la realidad? Movimientos filosóficos, religiosos, etc. también se plantean cuestiones suscitadas por las nuevas ideas…

¿Cómo iba Escher a quedar ajeno a esto? ¿Cómo desaprovechar esa licencia para crear que se le ofrece? En algunas de sus obras "Cascada", "Gravity"… aparecen distintos pozos independientes de gravedad, ¿qué es arriba? ¿y abajo?; se cuestiona lo vertical y lo horizontal, la simultaneidad…

ENLACES RECOMENDADOS

www.mcescher.com

www.eschersuniverse.com

www.eschergranada.com

www.parqueciencias.com

BIBLIOGRAFÍA

Ernst, B. 2007. ***El espejo mágico de M.C. Escher.*** Taschen, Madrid

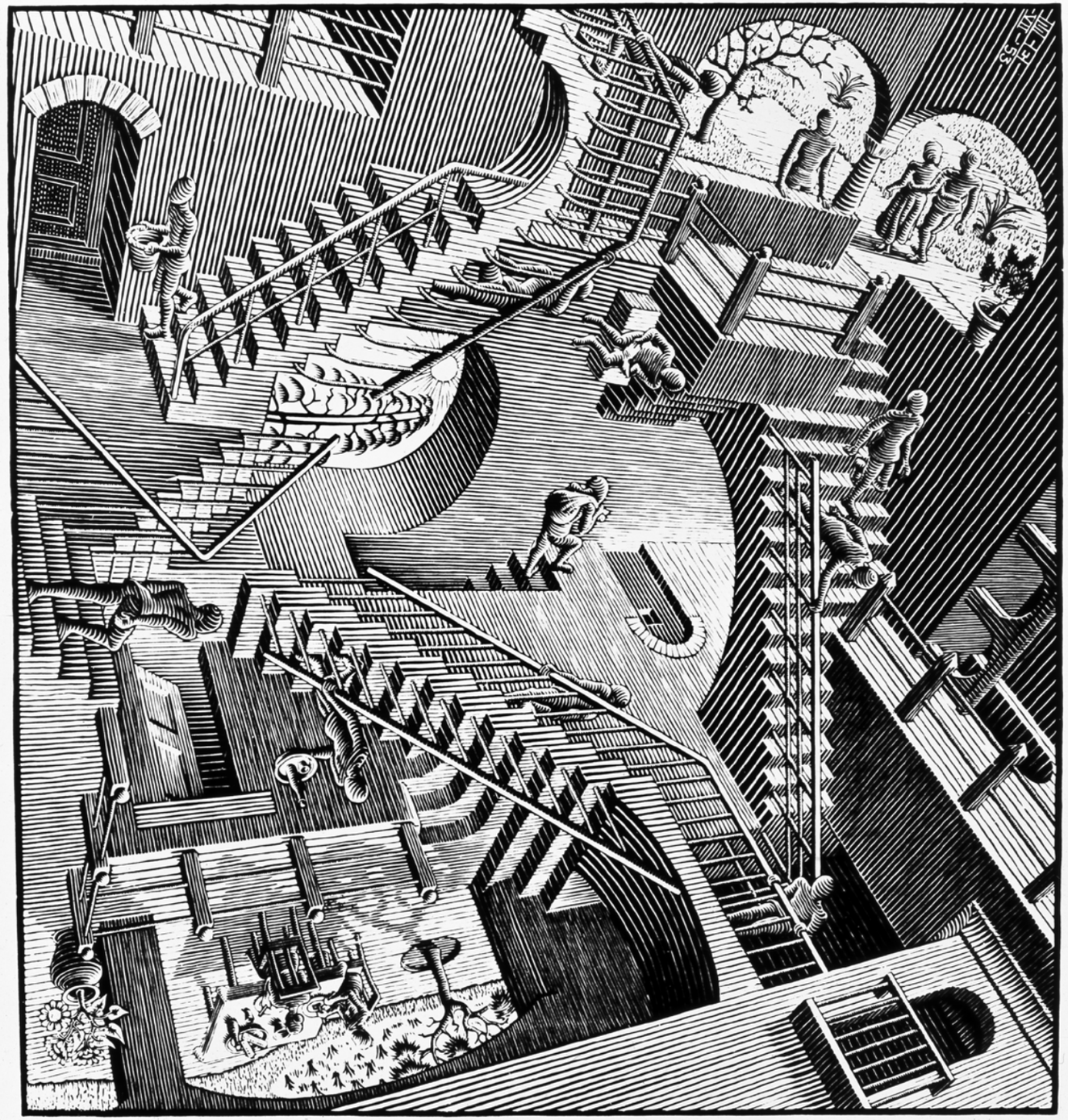
Penrose, R. 2010. ***Ciclos del Tiempo. Una Extraordinaria visión del Universo.*** Debate, Barcelona

Schattschneider, S. Y Emmer, M. 2005. ***M.C. Escher's Legacy. A Centennial Celebration.*** Springer, Heidelberg

Taschen, B. 2008. ***Estampas y dibujos M.C. Escher.*** Taschen, Hohenzollernring

Metamorfosis II. 1939-1940

Metamorphosis II. 1939-1940



Relatividad. 1953

Relativity. 1953

Relativity. 1953

Relatividad. 1953

Sun and moon. 1948

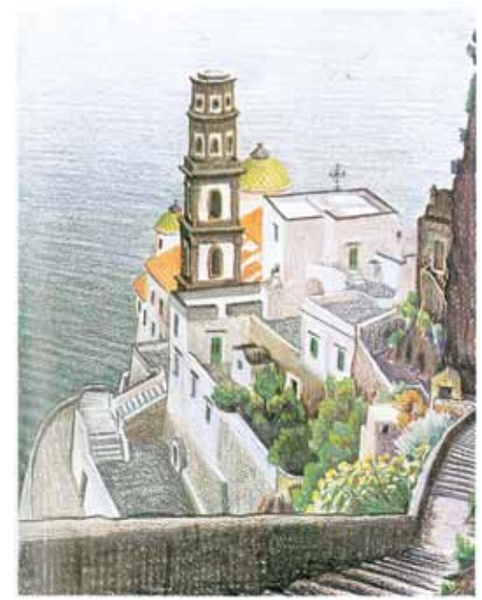
Sol y luna. 1948

Other world II. 1947

Otro mundo II. 1947

Atrani. 1931

Atrani. 1931



Atrani. Amalfi coast. 1931

Atrani. Costa de Amalfi. 1931

Up and down. 1947

Arriba y abajo. 1947

Simultaneous worlds, impossible worlds

He is also interested in the new ideas in Physics of his time, like relativity and gravitation, and he used to talk about them with scientists friends.

In "Other World" he shows us the relativity of the vertical. Which is the floor? Which is the ceiling? Which are the walls?

Using this same idea, Escher presents his lithography "Relativity"

"Three flat gravitational surfaces influence each other respectively in the vertical direction. Three flat surfaces on each of them living people, intersect at right angles. Two people from different worlds cannot walk, sit or stand on the same floor, as their ideas of what is horizontal or vertical do not agree with each other. However they can use the same ladder. In the upper ladder, two persons move in the same direction. But one goes up and the other down. It seems impossible that they can get to establish some contact with each other: they live in different worlds and know nothing about the other's existence."

Regarding his "Portrait gallery" he tells us:

"Two very erudite persons, (...), have long tried to convince me that I had drawn a Riemann surface. I doubt they are right, (...). Anyhow, Riemann is beyond my capability, (...) What I tried to represent is a surface that was just swelling, ring-shaped, without beginning or end. "

Yet this work still keeps producing admiration and debate among mathematicians.

Final

Escher was, thus, an artist marveling at nature around him, amazed by the beauty of landscapes, by crystals and their perfect order, by mathematics and astronomy, by the new physics developing in the early twentieth century, an artist able to express simultaneously the regularity and the diversity.

"Stillness and movement"

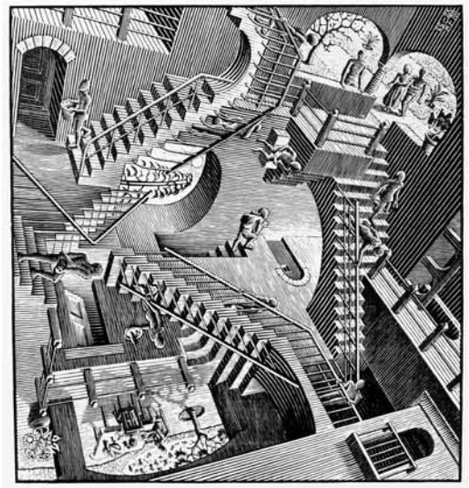
the beginning and the end

"Night and day"

Let us listen to him once more before saying goodbye:

"(...) So beautiful and pure are the things I try to express."

"So let us try to climb the mountain, not to set foot on what is below us, but to lift us towards what is above us, which in my case are the stars."



ACTIVITY 12

"Metamorphosis"

In his works, Escher played with a wide range of possibilities with regard to metamorphosis: shapes went from being geometric to figurative or inorganic to organic. His images are always in the process of continual change:

Take a look at the section of Escher's work "Metamorphosis" shown below. Try to count how many different images it contains. How many did you get?

Now try to find all the different images in "Metamorphosis II", which is on the middle pages.

DISCOVER MORE

Albert Einstein's theory of relativity was published in the early 20th century (special relativity in 1905 and general relativity in 1915). It introduced a new paradigm, a new scientific revolution in the field of physics and other sciences. However, it also influenced fields that were seemly detached from science, such as art, philosophy, literature, etc.

Trying to harmonize Maxwell's laws on electromagnetics with classical mechanics led to a new vision of physics –the theory of relativity– which provoked a radical change in the way we understand and explain the universe and its laws, which until then was based on Newton's classical mechanics.

Space and time were no longer considered to be absolute invariants –immutable concepts where phenomena occur– and became coordinates that can vary depending on the speed at which objects are moving. The presence of matter can distort the space-time dimension; the concept of simultaneity changes and the idea of reality becomes associated with the observer's vision, rather than being something fixed, being what it is or with what it exists.

What a commotion! The theory of relativity caused a stir in the scientific world, but by questioning some absolutes that were then thought to be untouchable, it also supported certain artistic movements that interpreted reality in unorthodox ways. Theatre and literature broke down the barriers of space and time, but which came first? And which came after? Clarity was blurred by impressionism; cubism combined various viewpoints of the same object in one single figure. But what is the reality? Philosophical and religious movements also started raise questions aroused by these new ideas.

How would Escher stand clear of this? How would he dismiss this chance to create that is offered to him? In some of his works, like "Waterfall" , "Gravity", ... there different independent sources of gravity arise, but where is up? and where is down? Verticality, horizontality, simultaneity are questioned.

RECOMMENDED LINKS

www.mcescher.com

www.eschersuniverse.com

www.eschergranada.com

www.parqueciencias.com

BIBLIOGRAPHY

Ernst, B. 2007. ***El espejo mágico de M.C. Escher.*** Taschen, Madrid

Penrose, R. 2010. ***Ciclos del Tiempo. Una Extraordinaria visión del Universo.*** Debate, Barcelona

Schattschneider, S. Y Emmer, M. 2005. ***M.C. Escher's Legacy. A Centennial Celebration.*** Springer, Heidelberg

Taschen, B. 2008. ***Estampas y dibujos M.C. Escher.*** Taschen, Hohenzollernring

Cosmology

The ancient Pythagorean conception of a Universe made up of five regular polyhedra can be considered as a good starting point for a cosmological model. Although old and inaccurate, it is based on the observation, which is the essence of the Scientific Method.

The Universe was formed about 14 billions years ago. The Big Bang is somewhat difficult to explain for mathematics and it is called a singularity. From her the Universe was born, and space and time with it. And space began to expand without a center.

With Escher's work "Cubic Space Division" we can understand this concept. If we place ourselves in any of the cubes in the joints of this expanding lattice, it seems that everything shifts away from us.

It looks like we are the center of expansion. The situation is very similar in the Universe: each group of galaxies is moving away from us and from each other.

Some of the major issues raised about the Universe, like wether it is finite or infinite, flat or curved, can be found in some Escher prints in which the same structure is replicated cyclicaly reducing to infinity, while keeping its shape unchanged.

With the same shapes, as described by the astrophysicist Penrose, Escher recreates the geometry of a flat space, of a finite and curved one and of one infinite and curved space.

"In my works I attempt to testify that we live in a neat and beautiful world ... and not in a shapeless chaos, as it sometimes seems."

Perception

Escher plays beautifully with the perspective, as in his "Waterfall" in which, if it was possible to build, it would constitute a perpetual source of free energy ...

... Or in his famous "Belvedere" where two floors are parallel and perpendicular at the same time ...

... and his work "Up and Down" which joins in a single image the simultaneous views of two observers watching from the floor and the roof.

ACTIVITY 11

"Escher's symmetry"

In our planetarium programme we often mention movement, symmetry, axes, symmetry planes, etc. Can you find a symmetry plane or planes in the following letters? Which ones? Why do you think they are symmetry planes?

DISCOVER MORE

Since the very beginning of time, humans have been observing the sky. The Sumers, Chaldeans, Egyptians, Chinese, Mayans ... have all formed theories on the Universe, hoping to harmonise their religious ideas with an explanation of the surrounding reality. In China, Earth was thought to be held by elephants standing on top of a large tortoise; in Greece it was Atlas who carried the pillars of Earth on his back; and in Egypt, the goddess, Nut, was believed to be the sky, etc.

Wonderful legends also gave way to more practical approaches that led to the creation of calendars and star maps, which defined farming cycles, predicted events such as eclipses and helped guide travellers.

The Greeks used this knowledge to create models of the Universe and explain the planets' movement by applying mathematics to observations made and measurements taken. Their ideas were transmitted to the western world during the Middle Ages thanks to Jewish and Muslim travellers and scholars. Initially, this gave way to the idea of a chaotic Universe that was later found to be ordered, with the existence of stars, planets, the seven celestial spheres, etc.

Discussion on the Earth's spherical shape and its position in the Universe, the development of mathematical methods and observational instruments, led to real scientific revolutions, i.e. those of Copernicus and Newton, that later, with the theory of relativity, made way for the most recent views about the Universe.

Escher's interest in mathematics and geometry and being able to infinitely tessellate different geometric elements, make him closer to Greek cosmological ideas and later ones. Recent advances, space exploration and the technologies we now have available, let us see spectacular images of planets, galaxies, comets, etc. Can you just imagine what Escher could have created with them?

DISCOVER MORE

If we analyse the spectra of galaxies, we can see that their light is redshifted. This progressive shift towards red, observed for the furthest galaxies gave Edwin Hubble the idea of an expanding Universe in 1929.

Escher traveller

Escher, born in Holland in 1898, travels to Italy and is excited about its landscapes. Villages cut on high cliffs, shore hamlets with steep roads and staired streets.

On his first trip to Spain, the Alhambra impresses him deeply, especially the geometric shapes of tiles and plasterwork. He wrote in his diary:

"This morning I was at the Alhambra. I thoroughly enjoyed this sublime and noble work of art. In the afternoon I went back there again and began to copy the ornaments of the tiles. The Arabs developed a great skill in the art of filling surfaces with figures that are repeated without leaving one free slot... ".

These visits will give a turn to his work. From them he will devote himself to what he called "the regular partition of the plane" breathing life into pure geometry.

"The regular partition of the surface is the richest source of inspiration I have ever encountered, and is still far from exhausted. ..."

How does Escher achieve this effect? It is not difficult, with regular polygons.

He appeals to mathematics by performing linear shifts, simmetries and rotations.

But if the polygon is deformed and the procedure is repeated the results yield greater beauty.

"It is unfortunate that Islam prohibits images. Therefore, the mosaics were limited to the use of abstract geometric shapes. No Arab artist dared to use recognizable figures (birds, fish, reptiles, men) as decorative elements."

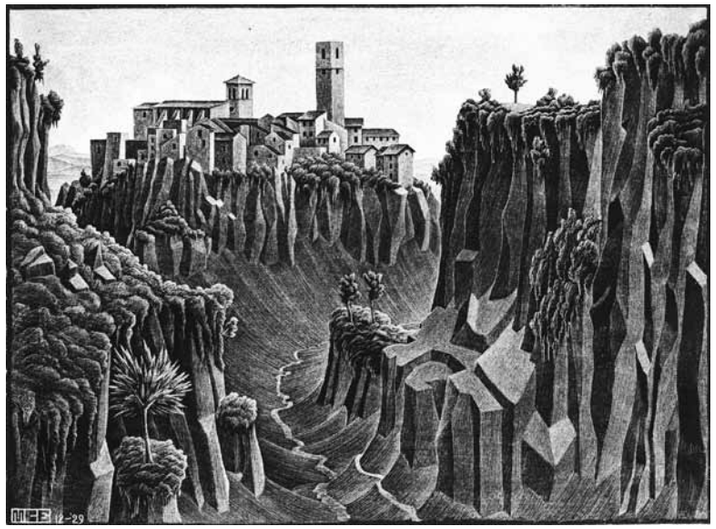
However, Escher succeedes admirably.

"(...) Although I do not have a training in mathematical sciences or other expertise, I often feel closer to mathematicians than to my own colleagues."

What was his profession? He was neither an architect, nor astronomer, geologist or mathematician.

DISCOVER MORE

The Koran does not prohibit the use of animal forms as such. However, the Islam gave such importance to the message that writing became an essential element in the decoration of doors, walls, fountains and other architectural structures. However, animal forms can be seen in the Alhambra, such as in the Court of the Lions or in the vase depicting gazelles, and there are even human figures painted in the Partal palace. Fine examples of the Koran have been preserved throughout the Muslim world (Persia, Syria, Egypt, etc.) which feature beautiful illustrations of animals (wolves, lions, birds, etc.) and plant forms. Many utensils, ceramic ware, marble boxes, services, vases, braziers also display animals, plants.



ACTIVITY 8

"Where did Escher go?"

With the help of GoogleMaps StreetView, find **Amalfi** and **Atrani**, the places where Escher created two of his best known landscape sketches. Once you have found the exact spot, try to look for the same perspective that inspired him to draw them. You can find the sketches on the middle pages.

ACTIVITY 9

"Escher and the Alhambra"

Escher was an unusual artist in that he liked to solve problems that would seem to interest mathematicians more than artists.

After he first visited Granada in 1922, he was marvelled that the Alhambra's creators had achieved "the regular division of the plane into congruent figures evoking an association in the observer with a familiar natural object".

The mosaics in the Nasrid Palaces inspired him so much, he started to study the mathematical relationships that appeared within them and overcame the restrictions that the plane imposed on art. He looked for a mechanism –which can be seen in many of his pieces– that allowed him to achieve a limitless plane of worlds that were embedded within one another.

By repeating and combining, rotations, simmetries and shifts of simple geometric shapes, he created new ones that fitted perfectly together, not leaving one free slot on an entire wall, tile or ceiling.

How to make a bird, bones and petals

(You can find the templates for the bird, fish and lizard patterns on the CD in the guide)

The most common patterns in the Alhambra palaces are the bird, snowflake shape and bone shape, which can be seen in the following pictures. Do you think you could do something similar, following the steps below? Have a go yourself:

Take an equilateral triangle, cut a portion from the side as shown in the picture. Place this portion at the other end of the same side by rotating it 180° around the midpoint.

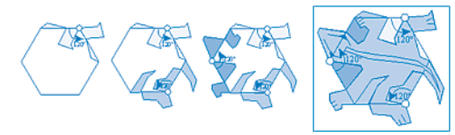
When we first look at a mosaic, it doesn't look anything like a regular polygon. You can make bone shapes and petals in the same way that you did the bird. How would you do it?

ACTIVITY 10

What are Escher's mosaics like?

Escher's mosaics are generally based on repeating a single piece, which may seem to be irregular and oddly shaped, but fits perfectly together with the other pieces. Escher would take a triangular, quadrangular or hexagonal piece and would transform it by cutting a portion from it and sticking it back in a different place, maintaining the principle of fit. Escher was a master in tessellating shapes based on the human figure or odd animal forms.

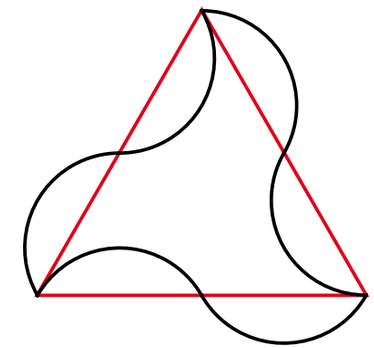
The picture below shows you how to get an Escher lizard from a regular hexagon:



Cut out part of the polygon's side and add it to the other side, rotating it by 120°. Repeat until you have a full lizard shape.

The shape has the same surface area as the original polygon and can also cover the entire plane.

We can recreate his flying fish in the same way.



Polyhedra in the Universe

As the polyhedra, which Plato associated to the origin of Humanity and Cosmos.

The Pythagorean cosmology associates them with the the four fundamental elements of Nature.

This Pythagorean model inspired Kepler a Cosmology which related the five regular polyhedra to the six known planets. He called it "the Cosmographic Mystery".

Escher constructed a model of Universe in which the bodies were inscribed one in each other. He was tremendously interested in the regularity of polyhedra and how it also showed up in the crystal structures, sensing the fractal concept.

Escher is marveled by crystals in Nature, their perfect symmetries, their transparency and color diversity.

"Long before man existed on earth, crystals grew in the Earth's crust... There is something thrilling in the laws governing the crystalline formations. They are not product of the human work. They are independent of us - they simply 'are'. "

ACTIVITY 5

"Escher and the five Platonic solids"

The search is always the challenge. Escher's interest in geometry can be seen in many of his pieces. Wherever he travelled, he would always carry a model of the five convex regular polyhedra –the five Platonic solids.

A regular polyhedron is a three-dimensional shape whose faces are identical regular polygons. There is the same number of faces on each regular polyhedron's vertex. All of its edges are the same length, all of its dihedral angles, made up of two faces, are equal, they have a symmetry centreline, axial symmetry, and mirror symmetry. The following can be drawn on them: one inscribed sphere, tangent to all of the faces in their centre, and another circumscribed sphere, tangent at each vertex.

So many regular shapes and mysteries to discover! What else could have aroused Escher's interest in these polyhedrons? Why are there only five such polyhedra in nature? Why can't their faces have more than five sides?

For any convex regular polyhedron, the sum of all the angles built by the edges a any vertex must be less than 360°. If we were to flatten a polyhedron at one of its vertexes, the central angle would be 360°, which means that the sum of angles formed at the any given vertex must be less than 360°. This is why there are only five Platonic solids:

Tetrahedron: 4 triangular faces

Hexahedron or cube: 6 square faces

Octahedron: 8 triangular faces

Dodecahedron: 12 pentagonal faces

Icosahedron: 20 triangular faces

We cannot make a convex regular polyhedron using a regular hexagon with interior angles of 120°, because three hexagonal faces can only join together at the same vertex if they are on the same plane (with a central angle of 360°). The same happens with any regular polygon that has more than six sides.

In the DVD you will find templates for the five regular polyhedra.

ACTIVITY 6

"Kepler and the Mysterium Cosmographicum"

Kepler (1571-1630) was an astronomer and mathematician who supported Copernicus's heliocentric theory by discovering the exact formula of the orbits for each of the planets in the solar system (not very flattened ellipses), their relative sizes and the planets' orbital speed. These discoveries allowed Newton to fully explain how planets move with his Universal Gravitation law. But, like any great scientist, he did not only want to know how, but also to find out why. He was also influenced by the ideas of his era: he wanted to know why there were only six planets, from Mercury to Saturn, the only ones to have been discovered at the time. He searched for it in a supposed mathematical harmony of the world, which was an idea from the classic Greek thinkers. Oddly, he found a delicate relationship between the five unique regular solids and the planets' orbits. Taking a sphere the size of Saturn's orbit, he inscribed one of the regular solids inside it; then inside that, he was able to inscribe a sphere the size of Jupiter's orbit. He carried on inscribing solids and spheres inside one another until he reached Mercury and everything fitted perfectly. This led him to (wrongly) believe that there could only be six planets because there are only five Platonic solids.

Do some research and fill in the following table:

Planet	Platonic solid
Saturn inscribes a	_____
Jupiter inscribes a	_____
Mars inscribes a	_____
Earth inscribes a	_____
Venus inscribes a	_____
Mercury	

It just proves that geniuses can make mistakes too! However, Kepler was really happy with his discovery. Fortunately, he didn't survive to witness the invention of the telescope and the later discovery of Uranus and Neptune which tore his Mysterium Cosmographicum to pieces.

ACTIVITY 7

"The magic of crystals"

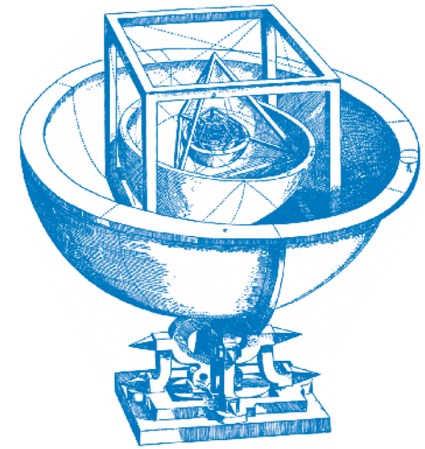
Crystals are formed from a basic cell that is regularly repeated in three directions perpendicular in the space. The layout and way that these particles are organised depends on the substance's composition and characteristics, which could give way to extremely beautiful structures. It is no wonder that Escher was so fascinated by them!

If you take a look at some crystals with a magnifying glass or even through a microscope, you are sure to see shapes you'd never have dreamed of finding.

You can even make your own crystals! Prepare a saturated solution in warm or hot water using salt, copper sulphate or potassium nitrate. Using the appropriate laboratory equipment and with an adult's supervision, filter or pour the solution into a wide-mouthed recipient, like a Petri dish, a crystallising dish or a bowl.

Leave the solution rest for several days in a place where it will remain still and where the temperature doesn't change too much. Examine your crystals and try to see if there are any geometric shapes, symmetrical axes or planes.

You can even see how some of the crystals grow. If you put some of the solution on a microscope slide, you will see the water quickly evaporate and really tiny crystals will start forming in organised networks, almost as if it were a kaleidoscope.



Equatorial constellations: the Zodiac, a calendar

The Zodiac constellations are found in the equatorial area. A different one can be seen at midnight during one month of the year. This is the strip of sky where the Sun and the planets apparently transit. In the 5th century AD, it was divided into 12 equal parts (one for each month of the year), which were given the name of the constellation closest to it. The constellations are:

No.	Latin name	English	when highest in the sky
01	Aries	Aries, the ram	21st March - 20th April
02	Taurus	Taurus, the bull	21st April - 21st May
03	Gemini	Gemini, twins	22nd May - 21st June
04	Cancer	Cancer, the crab	22nd June - 21st July
05	Leo	Leo, the lion	22nd July - 23rd August
06	Virgo	Virgo, Virgin maiden	24th August - 22 Sept
07	Libra	Libra, the balance	23rd Sept - 23rd Oct
08	Scorpius	Scorpio, the scorpion	23rd Oct - 22nd Nov
09	Sagittarius	Sagittarius, the archer	22nd Nov - 21st Dec
10	Capricornus	Capricorn, the goat	22nd Dec - 20th Jan
11	Aquarius	Aquarius, the water-bearer	21st Jan - 19th Feb
12	Pisces	Pisces, fish	20th Feb - 20th March
13	Are there any more?		

Aries is the first constellation of the Zodiac, starting on the 21st March, which was the first day of the year on many ancient calendars. The constellations on this list are considered to be the oldest, with evident astrological meaning. Astrology was a discipline that preceded astronomy. Today, astronomy and astrology are no longer related to one another. The dates of this calendar were right at those times. Is it still so today? Try to find out at which date passes the Sun in front of Aries nowadays. You can help yoursef with a planisphere or any astronomical software. The reason for this change is the Earth´s precession movement.

ACTIVITY 4

"Escher and Astronomy"

Escher was a great fan of astronomy. His legacy makes direct and indirect reference to astronomy. Some of his works even display objects or details that only expert astronomers would recognise, such as star clusters, comets or double stars.

Some of his pieces can help us understand concepts that have been used throughout the history of astronomy to explain different models of the Universe. His works cover models used by classic astronomers like Pythagoras or Plato, and even more modern models used by present-day cosmologists, like Roger Penrose.

Look at the pieces "Sun and Moon" and ""Another World II" that are on the middle pages.

Look at the white birds in "Sun and Moon". What can you see? Then look at the blue birds. What can you see now?

Look at "Another World II" and try to pick out all of the astronomical objects in the piece. Can you work out what is up, down or sidewards?

With Escher´s eyes

"My work is a game, a very serious game".

Who is this Maurits Cornelis Escher for whom his work is a game?

Is he a mathematician, an architect, an artist, a traveler ...?

"All my works were done with the intention of expressing a particular idea. These ideas are based on my awe and admiration for the laws contained in the world around us".

"For these phenomena to move us, we need without doubt the admiring talent of children. And I possess it in abundance. Admiration is the salt of the earth".

"Who wonders still about the Moon, suspended high in the sky?

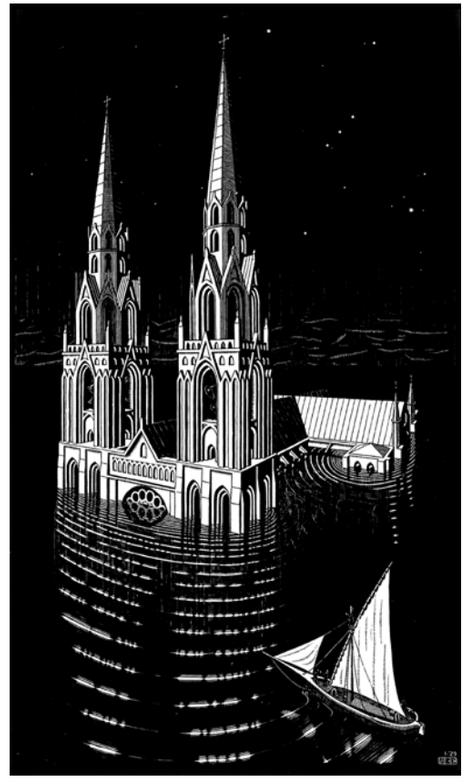
Escher, very found of Astronomy, feels the attraction of the night sky and wonders about celestial phenomena.

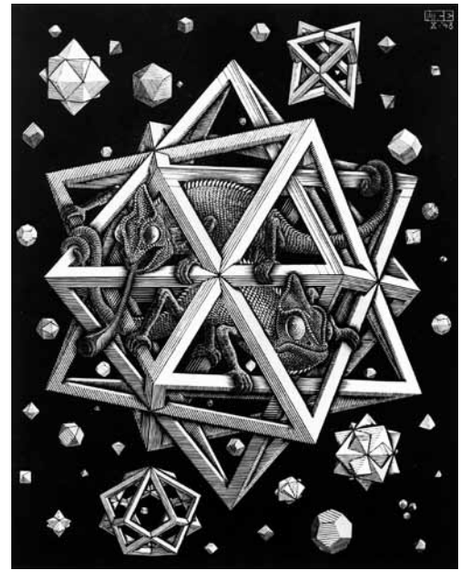
... shows Orion constellation ...

...and plays admirably with Sun and Moon...

...or recreates other worlds' landscapes with impossible architectures.

He displays a Universe of objects and landscapes, whose forms seem to move on their own.





ACTIVITY 2

"Escher-inspired artists"

The peculiar world vision that Escher reflected in all of his works has been a source of inspiration for numerous artists.

Some try to remake his impossible constructions, while others go one step further in attempting to develop his interpretation of the Universe.

If you take a look at the bibliography, you will see that many of the artists mentioned were inspired by Escher. Pick an artist and take a look at his work. Examine the piece you like the most and discuss it with the rest of the group.

ACTIVITY 3

"Recognising constellations"

Constellations are phantastical shapes that we assign to a group of bright stars in the sky. They help us to recognise stars. They have historically been related to mythology and are often represented by animal forms. The stars in a constellation are only apparently close in position and brightness. Some can be a lot further than others and have very different absolute magnitudes. However, when distance is compensated by brightness, they seem to be of a similar apparent magnitude. There are 88 constellations.

By recognising constellations, it is easier to identify stars and improve our orientation on Earth. Using a planisphere, we can spot the brightest constellations and stars in the sky.

Corona Borealis: Northern hemisphere

We can start by picking out *Ursa Major.* This constellation will help us find the Pole star, which is almost aligned with the Earth's axis of rotation which is the real celestial and geographical North Pole. To find it, you need to pinpoint the "Big Dipper". Pick out the two brightest stars, *Merak* and *Dubhe.* Trace a line five times the distance between them out of the 'dip' and you should be able to see the Pole Star! Now you should be able to easily recognise the *Ursa Minor* (if there is not much light pollution) and the Draco constellation.

The *Cassiopeia* constellation is an alternative and/or complement to the *Ursa Major* and is also within the Borealis constellations (around the North Pole) that help us find the Pole Star.

Latin name	English name
Ursa Major	The Great Bear
Ursa Minor	The Little Bear
Draco	Dragon
Cepheus	Cepheus, King of Aethiopia
Cassiopea	Cassiopeia, the vain and boastful queen
Camelopardalis	The Giraffe

Corona Australis: Southern hemisphere

Latin name	English name
Octans	Octant
Tucana	Toucan
Pavo	Peacock
Triangulum australe	Southern triangle
Apus	Bird of Paradise
Hydra	Mythological creature

An engraver at the Planetarium of a Science Museum in Granada?

As in his metamorphosis and impossible figures, M. C. Escher, who visited Granada in 1922 and 1936, creates with his work a loop where past and present meet. Worlds hitherto impossible, arising from modern geometry, were already imagined and made real by the architects of the mosaics and ornaments of the Alhambra in Granada.

Geometry and rigor join creativity and imagination to generate these infinite universes, so new, obtained through the exploration until the limit of their possibilities of the regular division of the plane to produce congruent shapes that evoke in the viewer an association with a familiar natural figure.

What a better place than a Planetarium to show all this?

The tutorial we present is intended as support material for "The Universe of Escher", one of the programs of the Planetarium of Parque de las Ciencias.

It consists of a DVD with video and audio clips of the program, so as materials for the experiences and activities to help you complete your knowledge of Escher's work and our Planetary program, and also to encourage you to enter his world that special.

Introduction

When the night is upon the Earth, a beautiful and unknown Universe is open to our eyes, leaving to the imagination an unlimited freedom to explore and discover, to think and dream, to write and paint ...

In the Planetarium, a clean sky, free of lights and pollution, transports us to other times and places.

This fascination that overwhelms us when we look at the night sky is something innate to humans and throughout history we are aware of many different interpretations that attempt to describe, with more or less success, what we feel and see.

Philosophy, Art, Science or Poetry, all of them have woven different theories about the origin and evolution of a Universe, where besides energy, space and time, we ourselves and everything surrounding us belong to.

ACTIVITY 1

"Light pollution"

Light pollution is any light or glow shining over the night's dark sky background.

Although the sky is studded with stars, when the site is high and away from cities (and other light sources), the atmosphere is clear of clouds and dust, higher up and further away from cities (and other light sources), the empty space between each star is very dark, almost black, and is called the "sky background". This is why astronomical observatories are ideally located on high mountains, preferably surrounded by sea or desert.

If small airborne dust particles, smoke or condensed steam droplets (fog or mist) are present, any light, whether extra-terrestrial (moon, stars, planets, comets, etc.) or from Earth (cities, roads, vehicles, fires, etc.) is scattered or reflected in all directions. This produces a diffuse light superimposed to the sky, rising the "sky background" above the brightness of the faintest stars, meaning that we can no longer see them.

During the 3rd century BC, Hipparchus created the first star catalogue, naming and positioning almost one thousand visible stars. He also ranked the stars by their "magnitude", marking their brightness on a scale of 1 to 6, with 1 being the brightest ("first magnitude") and 6 being the faintest to the naked eye.

The modern Bright Star Catalogue of the University of Yale, includes 9100 stars with a magnitude brighter than 7 of the whole sky (both hemispheres). Approximately 6000 stars have a magnitude brighter than 6, and half of them would be above the horizon, hence visible, at any given moment.

Magnitude	No. of stars	No. of stars accumulated
-1	2	2
0	6	8
1	14	22
2	71	93
3	190	283
4	610	893
5	1,929	2,822
6	5,946	8,768

If we could count all the stars that we can see above the horizon in the night sky, we would know what "limiting magnitude" reaches the "darkness" of the night. This measurement tells us the sky's quality or, in part, how much light pollution there is.

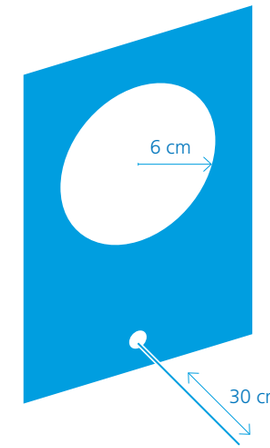
How to make a star counter

We are going to make a device so that we can count stars. You will need a sheet of thin card and 40 cm of string. Cut a hole of 12-cm in diameter (the same size as a DVD) in the middle of the card. Below the hole, thread the string through the card. Tie a knot at each end of the string, ensuring there is 30 cm between the two knots.

How to use your star counter:

With one hand, hold the card in front of one eye. With the other hand pull the end of the string tight against your cheek. You will be able to see a "solid angle", equivalent to one hundredth of the total celestial sphere. Point the device up to a fix place of the sky and count the stars that you can see through it. Multiply that number by 100 and you will get the total number of stars visible in the sky. If we compare this number with the Hipparchus's magnitude scale (accumulated number of stars column), we can obtain the "limiting magnitude" (from the first column), which tells us the sky's "(photometric) quality". The method improves by taking several measurements in the same area (so as to obtain average values) or in different areas in the sky.

(You can also make the star counter from a rigid panel with a handle and a wooden rod).



Brochure acknowledgements

Title *Escher's Universe*

Publishing Parque de las Ciencias, Granada

Authors Roberto Sánchez
Víctor Costa
Vicente López
Carlos Sampedro
Guadalupe de la Rubia
Vicente Fernández
Manuel Roca

Assessment Javier Medina
Paz Posse
Cristina González

Designed by Tarma, estudio gráfico

Financed by FECTY (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología)
Ministerio de Economía y Competitividad

Acknowledgements Patronato de la Alhambra y Generalife
M.C. Escher Foundation
El Exilio S.L.
Antonio Navarro
Juan Mata
Eduard Viñals
Gloria Martí

Printed by Gráficas Alhambra

ISBN 978-84-943567-1-1
L. D. GR?????

© Parque de las Ciencias, 2012
www.parqueciencias.com

A planetarium programme on Escher

In 2011, the Parque de las Ciencias, the Council of the Alhambra and the M.C. Escher Foundation organised an impressive exhibition on the works of the Dutch creator Maurits Cornelis Escher. Seventy-five years have passed since Escher first visited the Alhambra in Granada, an experience that, as we will see, would leave an impression on his extraordinary work forever.

Escher visited the Alhambra twice: in 1922 and 1936. His second visit was really groundbreaking for his work, leading him to produce pieces that display his great interest in disciplines as diverse as mathematics, architecture and perspective.

The secondary objective of our Planetarium Programme, and given Escher's passion for astronomy is the projection of "Escher's Universe". It serves as an educational guide that will enrich the research of anyone who wishes to delve deeper into his works. This project uses the vast possibilities associated with new full-dome digital projection systems, as a nod to the traditional planetarium projection apparatus such as slide and optical projectors.

The programme aims to showcase his works and make his creations accessible to all ages of the public, while showing the most interesting aspects of his life. Furthermore, "Escher's Universe" gives recognition to a unique person that managed to bring the contrasting disciplines of art and science together, blurring the lines that separated them. He showed us that these two worlds were in fact not so far apart from one another. Beauty is locked within geometry or the wondrous cosmos.

Ernesto Páramo Sureda
Director of the Parque de las Ciencias

Escher's Universe

TEACHING GUIDE

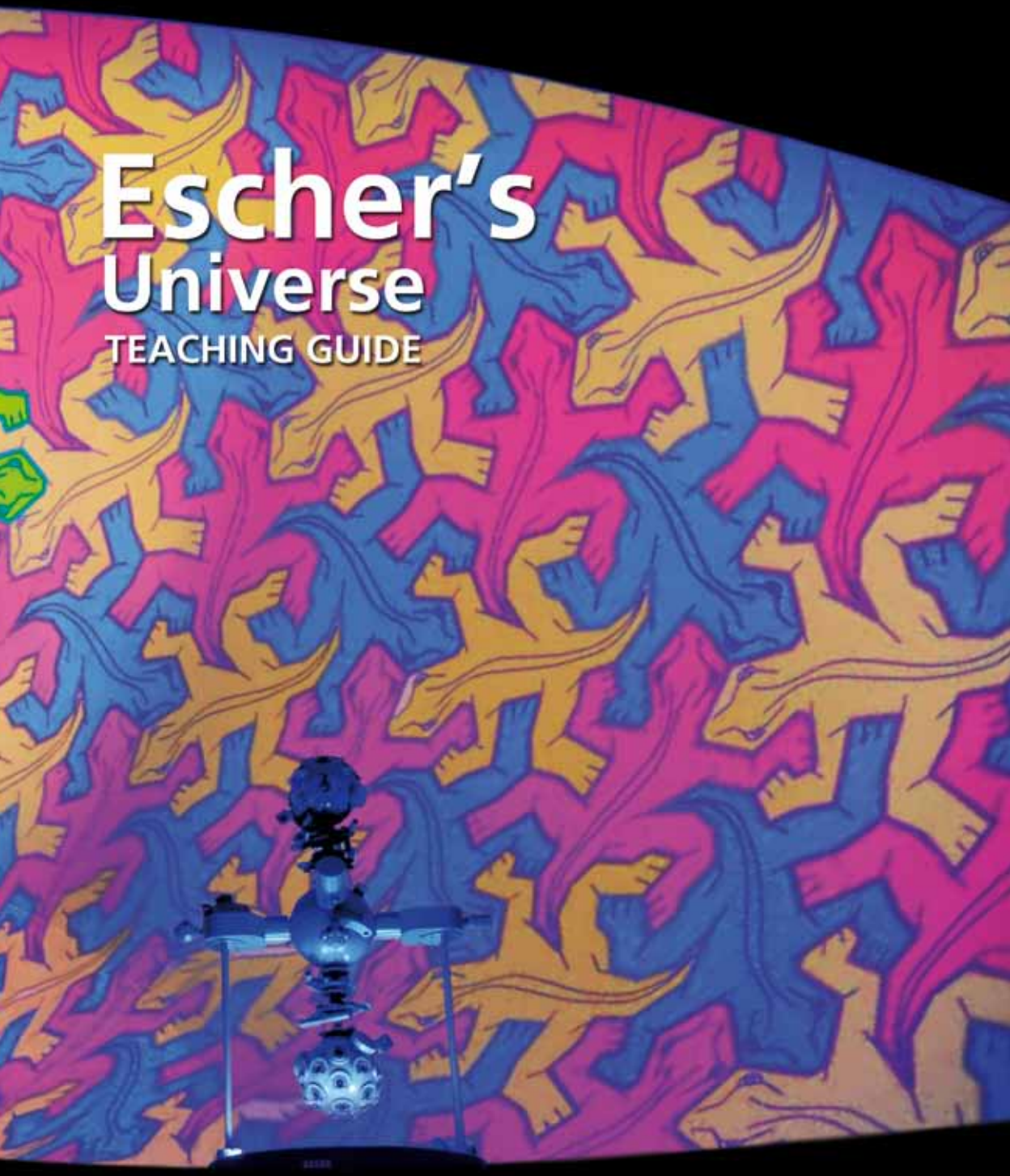
M.C. ESCHER FOUNDATION

PARQUE de las CIENCIAS
ANDALUCÍA - GRANADA

PARQUE de las CIENCIAS
ANDALUCÍA · GRANADA

Escher's Universe

TEACHING GUIDE



GOBIERNO DE ESPAÑA · MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD · FECYT · Patronato de la Alhambra y Generalife · CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN, CULTURA Y DEPORTE · M.C. ESCHER FOUNDATION