

03-058

### **Analysis of the Design Instruments contributed by Leonardo da Vinci in his scientific and technical work.**

Ernesto Cerveró Meliá; Pablo S. Ferrer Gisbert; Salvador Capuz Rizo

Universitat Politècnica de València;

The project theorists emphasize the importance of the instruments and tools applicable to it, so the so-called systemic ones such as Hubka and Eder in their "Theory of Technical Systems" specify the need of knowing the Instruments useful to design, while the non-systemic, such as Gómez-Senent in his Theory of Project Dimensions, establish the Operational Instruments as a fundamental dimension of the Project/Design. How did Leonardo contribute to the area of design tools and instruments?

From the improvement of the adjustable aperture compass, to the creation of a parabolic compass as the first generation of the ellipsographs. The improvement of the perspectograph, known as the "Leonardo Window", used as a "machine" to draw from a perspective. Its odometer, used as a meter of long distances, which improves by far the one invented by Heron of Alexandria, or his Dark camera, not only as a study of optics, but to be used as a means of tracing an image with a pencil.

The article aims to relate the advances that Leonardo brings as instruments linked to the world of design/project, discerning those who were creator, those that improve and those he recovered from antiquity.

**Keywords:** Leonardo da Vinci; ellipsograph; perspectograph; odometer; dark camera

### **Análisis de los Instrumentos de Diseño aportados por Leonardo da Vinci en su obra científica y técnica.**

Los teóricos del Proyecto destacan la importancia de los instrumentos y herramientas aplicables al mismo, así los denominados sistémicos como Hubka y Eder en su "Teoría de los Sistemas Técnicos" especifican la necesidad de ser conocedor de los Instrumentos utilizables para diseñar, mientras que los no sistémicos como por ejemplo Gómez-Senent en su Teoría de las Dimensiones del Proyecto, clasifica a los Instrumentos Operativos como una dimensión fundamental del Proyecto/Diseño. ¿Que aportó Leonardo en cuanto instrumentos o herramientas al servicio del diseño?.

Desde la mejora del compás de apertura ajustable, hasta la creación de un compás parabólico como la primera generación de los elipsógrafos. La mejora del prospectógrafo, conocido como la "Ventana de Leonardo", utilizado como una "máquina" para dibujar desde una perspectiva. Su odómetro utilizado como medidor de distancias largas, que mejora con creces el inventado por Herón de Alejandría. O su "cámara oscura", no solo como estudio de la óptica, sino para ser utilizada como medio para calcar una imagen con un lápiz.

El artículo pretende relacionar los avances que Leonardo aportó en cuanto instrumentos ligados al mundo del diseño/proyecto, discerniendo los que fue creador, de los que mejoró y de los que recuperó de la antigüedad.

**Palabras clave:** Leonardo da Vinci; elipsógrafo; prospectógrafo; odómetro; cámara oscura

Correspondencia: Salvador Capuz Rizo (scapuz@dpi.upv.es)



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

## 1. Introducción

Los instrumentos aplicables al proyecto-diseño son un componente fundamental tanto para poder plasmarlo en papel (“*los documentos del proyecto*”), o incluso a veces para poder llevarlo a la realidad física (“*el objeto del proyecto*”). Así hace falta el *compás* como herramienta de precisión en el trazo de elementos geométricos, o en la realización de mapas y planos topográficos; igualmente se precisan *instrumentos de medida de distancias* en los procesos de construcción, de desarrollo de cursos de agua, etc.

Leonardo (Vinci 1452 - Amboise 1519), realizó a lo largo de su vida multitud de diseños y proyectos, desde el desvío de ríos, el diseño de puentes, de barcos, de máquinas y mecanismos de fabricación y vuelo, de dispositivos de guerra, hasta incluso estudios anatómicos.

Para ello precisó de instrumentos de diseño, muchos de ellos de *invención propia*, y con los que llevó a cabo sus estudios de óptica, de perspectiva, de hidráulica, de tribología, etc.

## 2. Los compases de Leonardo

Desde la antigüedad el compás ha sido un importante instrumento de diseño tanto para la generación de circunferencias, como para obtener las bisectrices de los ángulos, la traza de rectas perpendiculares y paralelas, la comparación entre medidas e incluso para ser usado en el cálculo proporcional.

Ya los griegos lo consideraban como la herramienta de construcción más elegante y de extremada sencillez. No solo su ámbito de aplicación es el diseño, sino las matemáticas, la astronomía, la navegación, la topografía, el uso militar, etc. También ha sido ampliamente utilizado como elemento de representación indicativo de la ciencia y el arte.

En el Renacimiento se generan gran cantidad de compases especiales y con funciones específicas como por ejemplo la generación de elipses, parábolas, etc. Y Leonardo no es ajeno a ello: diseña varios modelos de compases tanto para el uso convencional, como con apertura ajustable, así como otros más complejos aptos para la ejecución de curvas cónicas como las elipses (el denominado elipsógrafo), o las parábolas (compás parabólico). También diseña compases de reducción de centro móvil e incluso crea un compás para curvas epicicloides.

Ejemplo renacentista y humanista, asimila al hombre como centro del universo, y como gran amante de la naturaleza estudia sus proporciones y establece el ideal de las mismas, generando en un dibujo (hacia 1492, existente en Galería de la Academia, Venecia) dentro de un círculo y de un cuadrado, un hombre desnudo en dos imágenes superpuestas, resultando el icono más famoso y representado de todos los tiempos, al que denominó el “*Hombre de Vitruvio*” (en honor al genial arquitecto romano) o de las “*Divinas proporciones*”.

Y en su texto adjunto escribe: “...*si un hombre se echa sobre la espalda, con las manos y los pies extendidos, y coloca la punta de un compás en su ombligo, los dedos de las manos y los de los pies tocarán la circunferencia del círculo que así trazamos*” (Ricart, 2006).

Sus modelos de compases están reflejados en varios de sus códices y manuscritos, algunos con un detalle excepcional, y que aún hoy podrían ser construidos y usados.

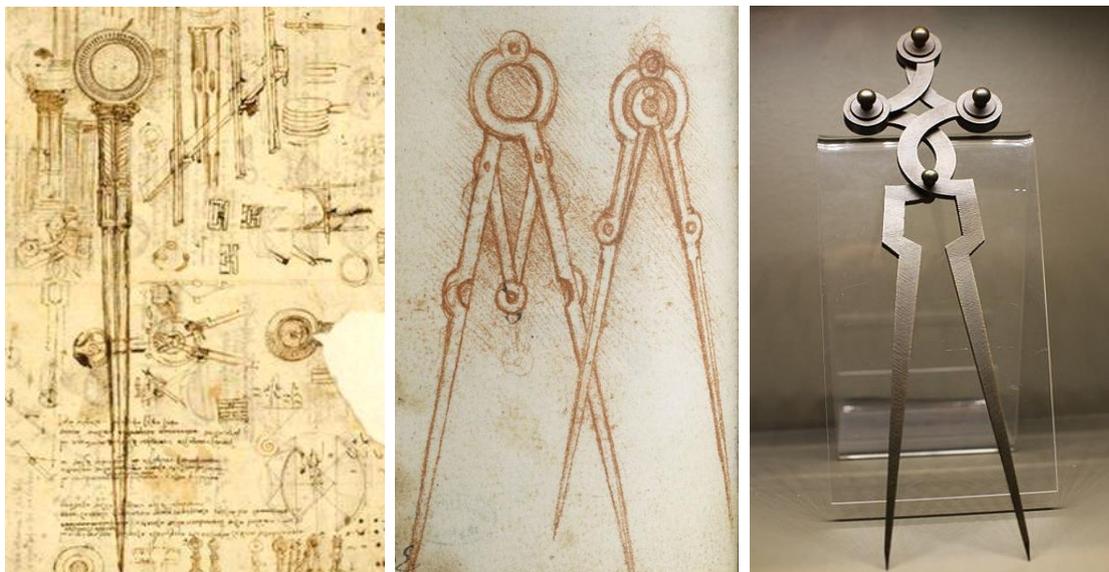
**Figura 1: A) El “Hombre de Vitruvio” Galería de la Academia. B) Manuscrito “I” del Inst. de Francia, París**



## 2.1 Los compases de varillas de apertura ajustable.

En el Códice Atlántico existente en la biblioteca Ambrosiana de Milán, existen varios diseños de Leonardo de este tipo de compases. Así, en el folio 48r, hay unos estudios de cabezas de compases diseñadas para aumentar el rozamiento entre las mismas y así asegurar la estabilidad de su apertura. Mientras que en el folio 696r (1514-15), dibuja un precioso compás ribeteado y decorado, con cabeza circular de grandes dimensiones, pensando en aumentar y asegurar el roce de sus charnelas.

**Figura 2: A) Estudio de instrumentos y compases. Códice Atlántico, folio 696<sup>r</sup>. B) Detalle de compás de apertura ajustable Manuscrito H de Paris, f. 108v. C) Maqueta de un compás del Codex Atlanticus, Musée de l' Histoire du Fer de Jarville la Malgrange (Francia), fotografía de Caroline Léna Becker.**



<sup>1</sup> Nota: Las referencias “v” y “r” junto a la denominación de los folios de los manuscritos o códices se refieren a “verso” o “reverso”.

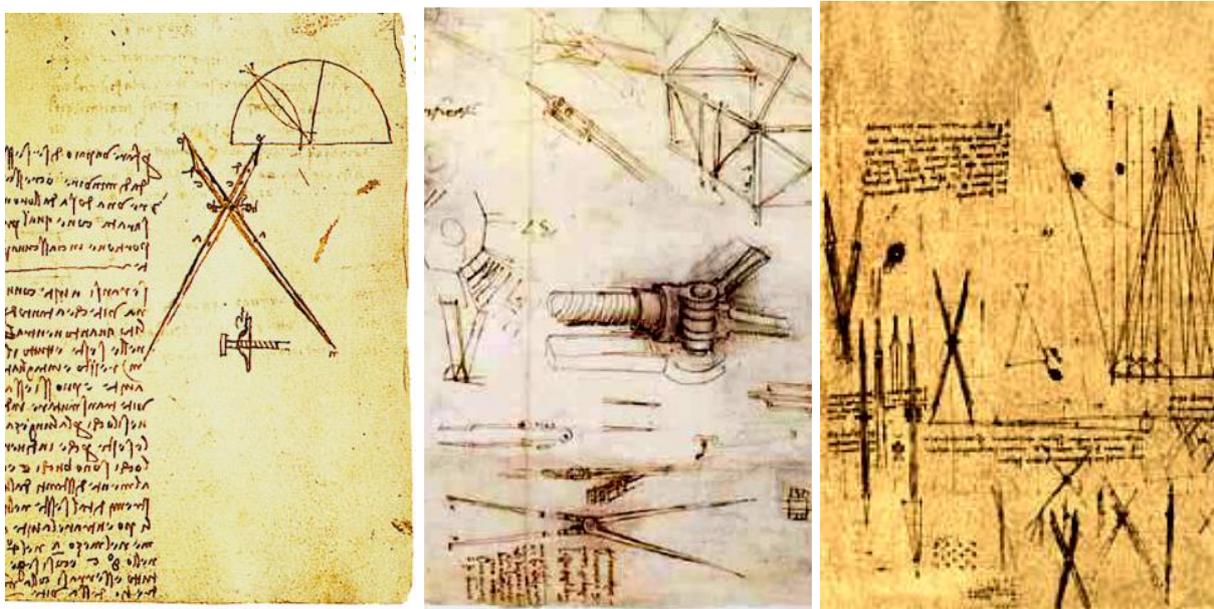
Existen más diseños de compases de varillas a lo largo de este código. Igualmente, en el folio 108v (1493-94) del manuscrito H del Instituto Francés de París, existen dos compases similares a los anteriores aunque sin tanta belleza, pero dotados de ejes intermedios que rotulan y dan más estabilidad a los mismos durante su funcionamiento.

*“En su diseño y construcción Leonardo conjuga la investigación tecnológica con la estética. Uno de los resultados deseados para el diseño de un compás era su estabilidad una vez abierto. Para obtenerla, se debía aumentar la fricción entre los dos vástagos del compás, y un modo de hacerlo era aumentando el número de charnelas. En varias de las hojas del Código Atlántico, Leonardo no solo alcanza este objetivo, sino que se aprovecha de él para conferir a la cabeza del compás una forma variada y original. La eficacia funcional del instrumento se convierte en motivo de elaboración estética, casi según el espíritu del diseño industrial”* (Laurenza, Taddei & Zanon, 2006).

## 2.2 Los compases proporcionales

Son instrumentos de cálculo, ya que por la propiedad de semejanza de triángulos de sus varillas (entre una parte y otra del compás) con ellos se pueden realizar operaciones aritméticas, geométricas o trigonométricas. Pueden usarse tanto para ampliar como para reducir formas. Leonardo es el primero que los documenta e ilustra técnicamente y explica sus propiedades (p. ej. en el folio 1046r y 672r del Código Atlántico de la Biblioteca Ambrosiana de Milán y en el folio 4r del Manuscrito I del Código Foster del Victoria Albert Museum de Londres). Así diseña varias versiones, unos con perno central fijo, otros de reducción con perno central móvil, y finalmente unos con perno fijo pero con posibilidad de incorporar puntas intercambiables con diferentes longitudes.

**Figura 3: A) Compás de proporción de tornillo, y detalle de su tuerca, Código Forster Ms. I, c. 4r. B) Detalle compás proporcional de varillas, Código Atlántico f 1046r. C) Compases de reducción, Código Atlántico f 672r**



## 2.3 El elipsógrafo o compás oval

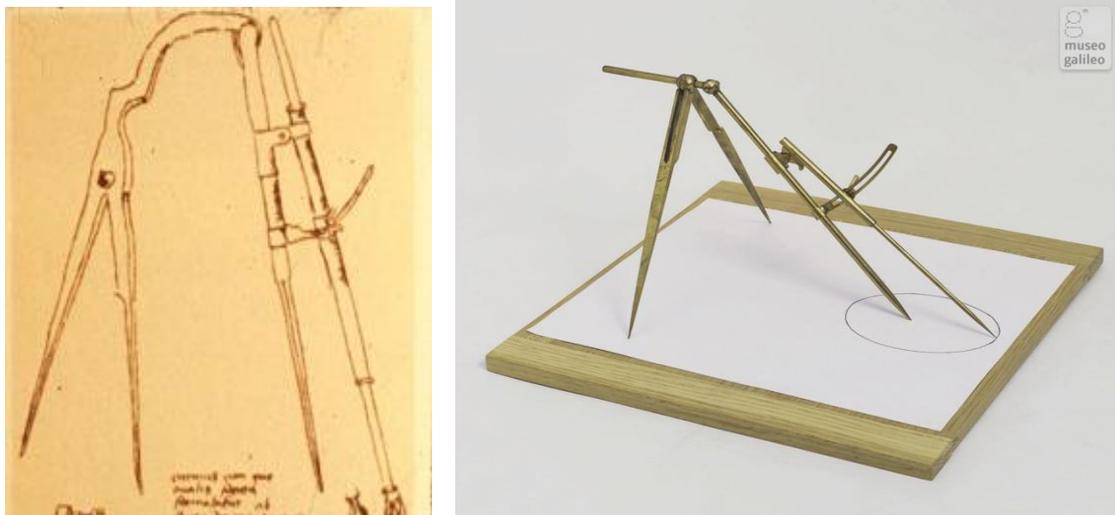
Aunque hay documentación al respecto de que los matemáticos árabes ya lo conocían, no se reconoce su invención a ninguno de ellos, siendo Leonardo el primero en plasmarlo gráficamente, así como en aplicar y explicar su funcionamiento. Con ellos creó las ruedas ovals para sus relojes planetarios.

Posteriormente, contemporáneos tardíos de Leonardo, como el relojero y mecánico Benvenuto della Volpia (1462-1532), que sí reconoce la autoría de este modelo a Leonardo, y el pintor Albert Dürero (1471-1528), asimilaron esta solución y este último la difundió por Alemania (Antoccia & Pedretti, 2003).

El compás precisa de tres apoyos y una varilla ajustable; el apoyo más largo representa el eje de un cono, mientras que la varilla ajustable sobre el arco graduado, y que puede deslizarse sobre dicho apoyo, representa la generatriz de dicho cono. Bastará girar dicha varilla ajustable alrededor del eje de tal manera que la aguja o carboncillo de su extremo, se deslice (con respecto al eje del cono) y pueda marcar sobre una superficie una elipse.

Para la exposición de Bolonia de 1953, (Florence, *Istituto e Museo di Storia della Scienza*.) fue reconstruido en latón un modelo posterior y muy similar al de Leonardo, en concreto el de Benvenuto della Volpaia, *Libro o códice di macchine diverse* (sobre 1524) de la Biblioteca Nacional Marciana It. 5363, c. 18r de Venecia.

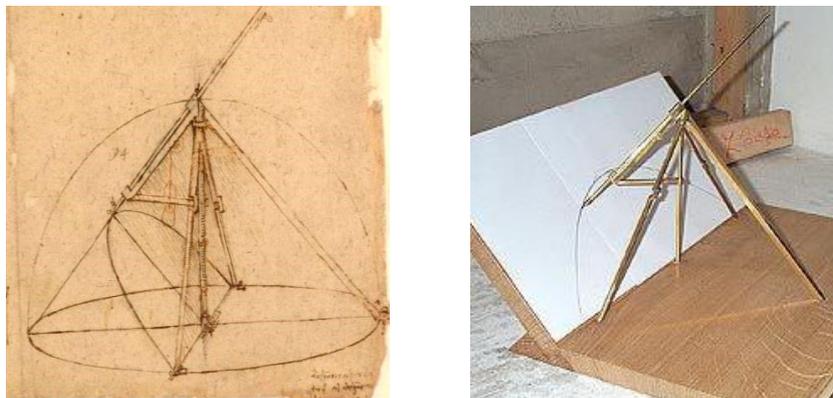
**Figura 4: A) Elipsógrafo de Leonardo, con tres apoyos. B) Elipsógrafo de Benvenuto della Volpaia, (Florence, *Istituto e Museo di Storia della Scienza*.)**



## 2.4 El compás parabólico

Su invención es atribuida a Leonardo, y está diseñado en el folio 1093r del Códice Atlántico de la Biblioteca ambrosiana de Milán (1513-14).

**Figura 5: A) Compás Parabólico. Códice Atlántico f. 1093r. B) Reconstrucción en latón del Instituto y Museo de Historia de la Ciencia de Florencia**



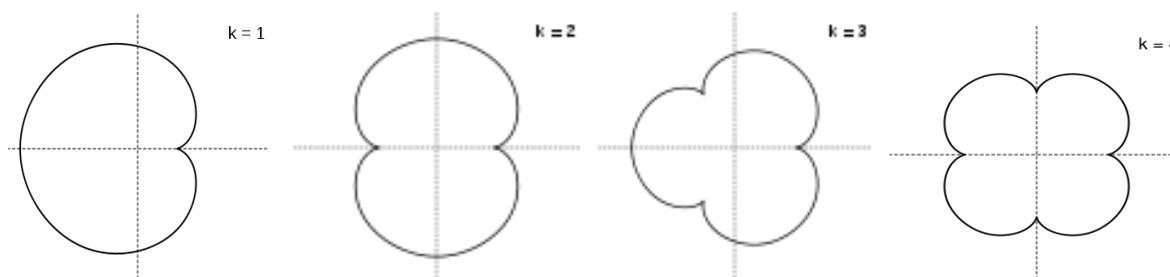
Consiste en reproducir la estructura de un cono rectangular de manera estable, con un brazo móvil y retráctil a  $45^\circ$ , que simula la generatriz del cono. Bastará colocar un plano inclinado que corte tal generatriz, y sobre él, apoyar el papel, donde poder marcar con el trazo del compás la parábola.

## 2.5 El compás para epicicloides.

La epicicloide es la curva que se genera por la trayectoria del punto de contacto perteneciente a una circunferencia generatriz que rueda, sin deslizamiento por el exterior de otra circunferencia directriz. Es un tipo de ruleta cicloidal.

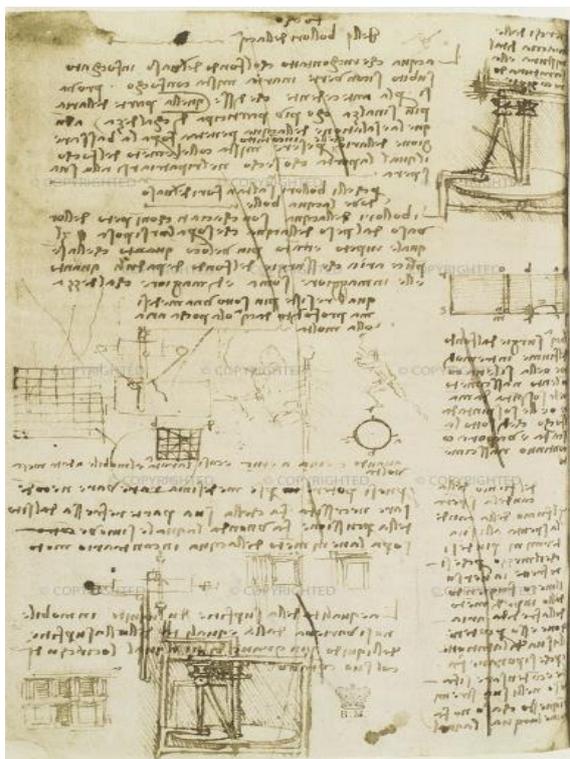
Según va cambiando la relación  $K$  de los radios directriz y generatriz, va cambiando la forma de la curva.

Figura 6: Formas de la Epicicloide desde  $K = 1$  a  $K = 4$ . (Fuente Wikipedia enciclopedia libre)



Leonardo estudia las curvas epicicloides para establecer las trayectorias de sus relojes planetarios, donde un planeta aparte de girar alrededor de sí mismo, orbita alrededor de otro; este doble movimiento es el que replica en su invento de compás o brújula epicicloide de Leonardo, existente en el Códice Arundel folio 160v de la British Library de Londres.

Figura 7: A) Compás epicicloide Códice Arundel f. 160v. B) Reconstrucción en latón del Instituto y Museo de Historia de la Ciencia de Florencia



### 3. El Prospectógrafo o Perspectógrafo

El arquitecto italiano León Battista Alberti (1404-1472), ya mencionó en alguna de sus obras el uso de este instrumento (Tagliagalamba, Pedretti, 2010), pero es Leonardo el primero en dibujarlo con detalle en su Códice Atlántico en el folio 5r (1480-1482) y describir su utilización. Incluso aparece dibujado el propio Leonardo utilizando su prospectógrafo de velo, dibujando una esfera armilar.

Leonardo distingue y utiliza dos clases de prospectógrafo: el de velo y el de vidrio. El de velo, nombrado ya por Alberti, sobre el que se dibuja la imagen observada directamente con algún elemento que manche (p. e. betún) y posteriormente esta se traslada al papel.

El otro, el de vidrio, está basado en la representación sobre el vidrio de la realidad exterior manteniendo un punto de vista fijo; es el que utiliza una ventana llena de cuadrículas (también conocida como la *Ventana de Leonardo*) por donde el diseñador observa el objeto a través de la mirilla del prospectógrafo y las traslada a su papel, donde también existen unas cuadrículas similares a las de la ventana (este modelo es el que más tarde popularizó en Alemania Albert Dürero (1471-1528)).

Del estudio y análisis de los dibujos así realizados, posteriormente se establecieron los principios que rigen la representación en perspectiva cónica.

**Figura 8: Prospectógrafo de vidrio de Albert Dürero, 1525.**



**Figura 9: A) Códice Atlántico, f. 5r. B) Detalle ampliado del prospectógrafo siendo usado por Leonardo.**



**Figura 10: Maqueta según dibujo de Leonardo, de Asociación cultural *Italian Art* ([italian\\_art@yahoo.com.br](mailto:italian_art@yahoo.com.br)) de Florencia.**



#### **4.- El odómetro y el podómetro**

Un **odómetro** es un dispositivo que indica la distancia recorrida por la persona, o por el vehículo que lo lleva incorporado (del griego “*hodo*” = camino y “*metron*” = medida). Y es el precursor de los “cuentakilómetros” y tacógrafos de los vehículos actuales. Inicialmente eran de constitución mecánica y hoy, estos instrumentos de campo, son de carácter electrónico.

Se atribuye al matemático, ingeniero y astrónomo griego Arquímedes de Siracusa (287 a.C.- 212 a.C.), la posible invención de este instrumento. Posteriormente el arquitecto e ingeniero romano Vitrubio (80≈70 a.C.- 15 a.C.) vuelve nombrarlo en su tratado “*De Architectura*”.

Parece ser que la primera aplicación del mismo la hizo el ingeniero y matemático Herón de Alejandría (siglo I - 75), al incorporar engranajes a las ruedas de los carruajes con el fin de conocer la distancia recorrida por estos.

No obstante, no es hasta el Renacimiento cuando Leonardo describe su construcción y características, siendo el primero en dibujarlo hasta el detalle.

Leonardo, en 1502 (primera etapa romana), tuvo los encargos César Borgia (hijo del Papa Alejandro VI), al ser nombrado “arquitecto e ingeniero general de los dominios Papales”, de establecer defensas y mejoras en las fortificaciones de los dominios del Papa “Borgia” y para lo cual precisaba de efectuar grandes medidas longitudinales. Para ello ideó varias máquinas de medida automatizada de longitudes, en concreto el folio 1b r (hacia 1504) del Códice Atlántico de la Biblioteca Ambrosiana de Milán, existen dibujadas al detalle dos odómetros y un podómetro.

El odómetro, en forma de carretilla, medía longitudes con las unidades establecidas por aquel entonces (“braccias”), mientras que el podómetro lo medía con la equivalencia a “pasos” de la persona que lo llevaba.

En el Odómetro de Leonardo, la rueda dentada, “*diseñada para avanzar un diente cada 10 braccias recorridas (alrededor de 6 metros), hasta que, al llegar a los mil seiscientos metros (una milla), un guijarro caía de un modo audible en un recipiente de metal*”. (Capra, 2008).

Por cada vuelta de la rueda grande central se adelantaba un diente de la rueda dentada lateral en vertical; agotada la vuelta total de esta última, ya se accionaba otra rueda horizontal superior, que llevaba incorporadas unas pequeñas bolas o piedras redondas en su parte alta, y se efectuaba la caída de una de ellas a una caja ubicada en la parte baja de la carretilla. Bastaba contar el número de bolas que habían caído para saber la longitud recorrida.

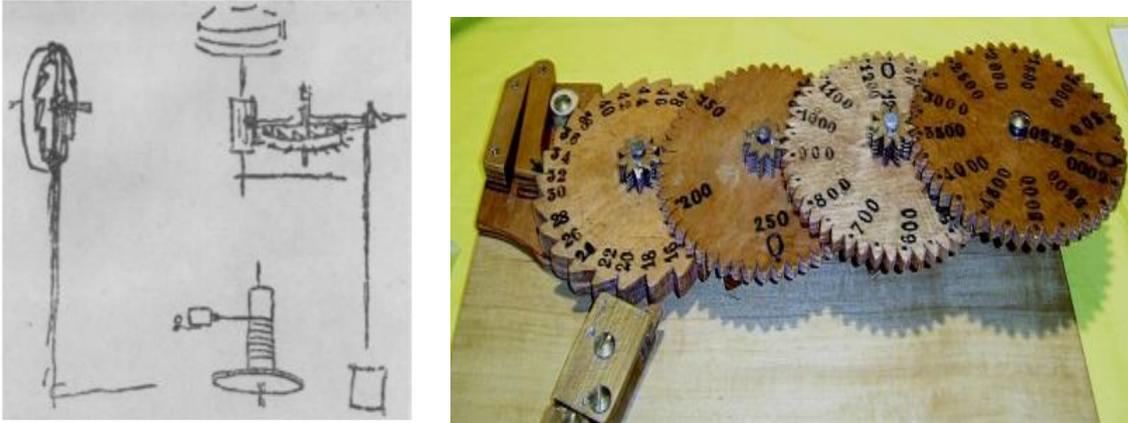
Leonardo diseña dos modelos en el manuscrito, uno más robusto y pesado, con dos ruedas de apoyo, y otro más liviano de una rueda. Ambos muestran solidez suficiente para ser utilizados ajustándose al estado irregular de los caminos y terrenos de entonces, con el menor error posible.

El Podómetro o cuenta pasos (tercer dibujo del manuscrito antes citado) servía para saber la distancia recorrida por las tropas (o por un caminante entre ciudades) en cualquier momento. El balanceo de la cuerda con un peso en su extremo inferior, incorporada al muslo de una persona, se movía hacia adelante y atrás en cada paso, y hacía accionar el diente del primer engranaje, asimilándose al balanceo del péndulo de los relojes. Después, en función del número de dientes de engrane de cada una de las tres coronas posteriores ensambladas, se podría saber en cada instante la distancia recorrida sin tener que contar los pasos constantemente.

Figura 11: A) Codex Atlánticus, folio 1b r. B) Maqueta del Museo Nacional de Ciencia y Tecnología de Milán. C) Odómetro actual, marca Kesom mod. RR3M.



**Figura 12: A) Detalles de una lámina del Códice de Madrid con contador de balanceos. B) Maqueta asimilable al Podómetro de Leonardo construida por el artesano italiano Giorgio Mascheroni para la exposición "L` Arttigiano di Leonardo" (<http://artigianodileonardo.jimdo.com>)**



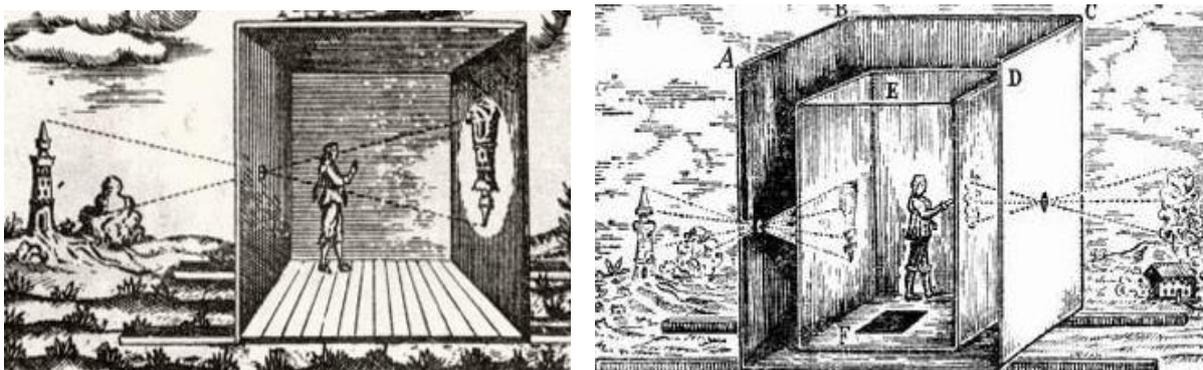
## 5.- La cámara oscura

Este instrumento óptico permite obtener una proyección plana de una imagen externa sobre una zona interior. O sea, es posible dibujar con la luz, colocando un papel traslúcido en la parte posterior, justo enfrente del orificio por donde pasa la luz. El orificio debe ser muy pequeño para que la calidad de la imagen sea nítida y clara.

Habitualmente se realiza con una caja cerrada y un pequeño agujero, por el que entra una cantidad de luz que proyecta en la pared opuesta de la caja la imagen del exterior pero en sentido contrario.

Inicialmente se realizaba en una sala cerrada (para que pudiera introducirse en ella el artista y dibujar desde su interior), practicando en uno de sus muros un pequeño orificio para la entrada de los rayos luminosos, que reflejaban los objetos exteriores en una de sus paredes.

**Figura 13: Imágenes de cámaras oscuras transportables, conformadas por una habitación descritas por el sacerdote erudito y políglota Athanasius Kircher (1602-1680).**

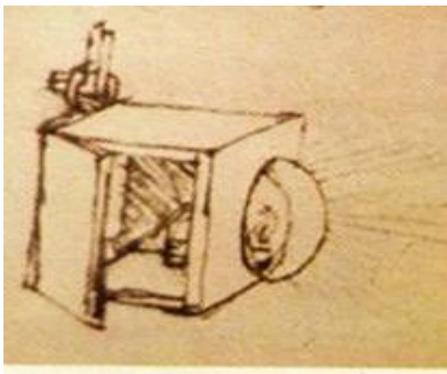


Los primeros conocimientos escritos sobre el fenómeno son del griego Aristóteles (384-322 a.c.). El matemático árabe conocido como Alhacen (Abu Ali ibn al-Hasan, 965-1038) estudioso de la óptica, es el primero que utiliza este fenómeno para explicar el funcionamiento de la imagen visual en el ojo humano, y que refuta las teorías griegas sobre los rayos luminosos (estableciendo que los rayos luminosos van de los objetos al ojo que los observa, y no al revés como decían los griegos) y es el que le otorga la denominación de "cámara" en óptica.

Pero es Leonardo, que profundizó en los conocimientos de óptica de Alhacen, sobre todo para sus propios estudios sobre la perspectiva, el que hace en sus manuscritos la primera descripción completa e ilustrada sobre su funcionamiento. Además de redescubrir su funcionamiento y darle utilidad práctica, es el primero en incorporarle una lente para perfeccionar (o incluso acercar) la imagen que se proyectaba en el interior desde fuera (Contreras, 2016).

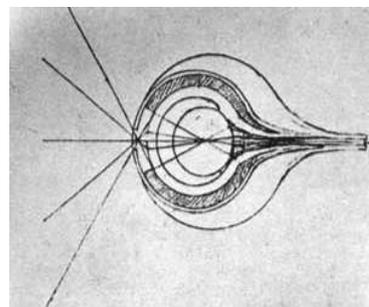
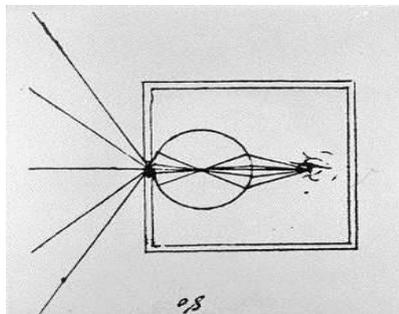
Describe varias veces sus experiencias con la cámara oscura. Dice en su "Tratado de la Pintura": *"Un experimento que muestra cómo los objetos transmiten imágenes o simulacros que se intersectan dentro del ojo en el humor cristalino. Esto queda demostrado cuando por un pequeño orificio circular penetran en una habitación muy oscura imágenes de objetos muy iluminados. Si tú recibes esas imágenes en un papel blanco situado dentro de la tal habitación y muy cerca del tal orificio, verás en el papel esos objetos con sus cabales formas y colores, aunque, por culpa de la intersección, a menor tamaño y cabeza abajo. Si dichas imágenes proceden de un lugar iluminado por el sol, parecerán como pintadas en el papel que habrá de ser sutilísimo y visto del revés. El orificio se abrirá en una placa de hierro muy delgada. (...) ¡Así ocurre dentro de la pupila"*

**Figura 14: A) Proyector de luz Códice Atlántico f. 10 r-a. B) Maqueta del proyector realizada por el profesor italiano de enseñanzas técnicas Giralomo Covolan (<http://www.macchinedileonardo.it>)**



En otro de sus textos, para demostrar la similitud entre el funcionamiento del ojo humano y la cámara oscura, matiza: *"De cómo las imágenes de los objetos percibidos por el ojo se entrecortan en el humor cristalino"*, también en ello, es el pionero en hacerlo constar.

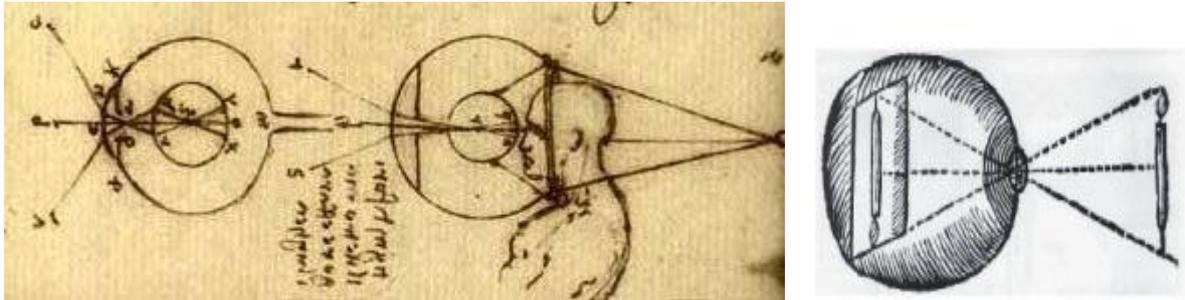
**Figura 15: Detalle de similitud de la visión del ojo y la cámara oscura, Códice Atlántico folio 337r.**



En el folio 3v (hacia 1508) del Manuscrito D del Instituto de París intenta demostrar el funcionamiento del ojo humano con un experimento. *"Ha llenado de agua un globo transparente, que representa el globo ocular, y en su parte delantera ha colocado una placa*

con un pequeño agujero en el centro, que representa a la pupila. En el centro del globo hay suspendida una bola de cristal delgado que representa al cristalino”, detrás de la cual Leonardo sitúa su propio ojo debajo del agua, en la posición del nervio óptico. “Tal instrumento enviará imágenes [...] al ojo de la misma manera que el ojo las envía a la facultad visual”. (Capra, 2006)

**Figura 16: Demostración del mecanismo del ojo por medio de un modelo de vidrio (Manuscrito D, f. 3v).**



Para Leonardo, la cámara fue un medio en potencia para calcar las imágenes con un lápiz. A partir de entonces se popularizó como herramienta auxiliar para el dibujo y la pintura.

Algunas de estas ideas, así como la incorporación por Leonardo de espejos parabólicos para realizar observaciones astronómicas (“Para ver la naturaleza de los planetas abre el techo y muestra en la base, de la pirámide de reflexión, un solo planeta y el movimiento reflejado de dicha base determinará la complejidad de tal planeta, pero haz que en la base no se refleje más que un planeta por vez”) fueron fundamento para el desarrollo posterior del telescopio reflector de Isaac Newton (1642-1727). (Nicholl, 2005).

Este principio también derivó mucho más tarde en la creación de la cámara fotográfica (manteniéndose el concepto de “cámara”) por Nicéphore Niepce (1765-1833) a partir de de una cámara oscura con lente de menisco en 1827. Conseguía fijar la imagen sobre una plancha de peltre plateado, cubierta de betún de Judea que, al exponerla a la luz, las partes afectadas por esta hacían solubles el betún; y al ser bañada posteriormente en un disolvente (aceite esencial de lavanda y petróleo blanco), se marcaban claros y sombras en la placa plateada, en distintos tonos, según fuera mas o menos soluble el betún.

Hasta la utilización masiva de la fotografía, las cámaras oscuras tuvieron mucha importancia siendo objeto de una asignatura en los estudios oficiales de Bellas Artes (Historia de las cámaras oscuras, n. d.).

## 6. Conclusiones

Leonardo, quizás el mayor polímata de todos los tiempos, en sus Cuadernos de Notas conformados hoy en varios manuscritos y códices que superan las 7.000 hojas, dejó constancia de la creación o mejora de varios instrumentos y herramientas relacionados con el mundo del diseño/proyecto.

No aceptó nunca la ciencia y los dogmas transmitidos de tiempos anteriores, si no habían sido validados por su propia comprobación o experimentación. Lo que le llevó a innovar y comprobar de manera constante en cualquier campo del conocimiento, y el mundo del diseño no fue para él una excepción.

Entre sus invenciones y mejoras de instrumentos al servicio del diseño, cabe destacar que mejoró tanto los compases de apertura ajustable como los proporcionales y que inventó un compás parabólico, un elipsógrafo o compás oval, así como uno para trazar epicicloides.

Igualmente mejoró el prospectógrafo o máquina de perspectiva, que popularmente se conocería como la “ventana de Leonardo”.

También mejoró el odómetro para medir largas distancias, e inventó el podómetro o instrumento de medida de pasos. Finalmente estudió y amplió el conocimiento de las “cámaras oscuras”, estableciendo mejoras técnicas y su uso como herramienta auxiliar del dibujo y la pintura.

Su excelente formación estética y técnica, su gran creatividad y perfeccionismo, hacen que todas estas invenciones aúnen precisión, estética y seguridad, propiedades que muchos años después caracterizarían el espíritu del diseño industrial.

## Referencias

- Antoccia, L., Pedretti, C. y otros (2003) Atlas ilustrado de Leonardo Da Vinci. Arte y ciencia. Las máquinas. Susaeta Ediciones.
- Capra, F. (2008). La ciencia de Leonardo. Editorial Anagrama.
- Contreras, M.A. (2016) Leonardo da Vinci: Ingeniero. Tesis doctoral Universidad de Málaga.
- Gómez-Senent Martínez, E. (1997) El proyecto. Diseño en ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia.
- Hubka, V., Eder, W.E. (1988). Theory of Technical Systems. Springer.
- Laurenza, D., Taddei, M., Zanon, E. (2006) Las máquinas de Leonardo. Susaeta Ediciones.
- Nicholl, Ch. (2005). Leonardo el vuelo de la mente. Santillana Ed. Generales. Edición en italiano.
- Ricart, J. y otros (2006). Grandes maestros de la pintura. Editorial Sol 90 SL.
- Tagliagambara, S., Pedretti, C. (2010). Leonardo: La Arquitectura. CB Edición.
- Epicicloide (2015, 8 Noviembre). Obtenido 13 de marzo de 2017 de Wikipedia, la enciclopedia libre: <http://es.wikipedia.org/wiki/Epicicloide>
- Furor Mechanicus (n. d.). Obtenido el 12 de marzo de 2017, desde [http://redi.imss.fi.it/invenzioni/index.php/Categoria:Strumenti\\_da\\_disegno](http://redi.imss.fi.it/invenzioni/index.php/Categoria:Strumenti_da_disegno)
- Girolamo C. (n.d.). Macchine Di Leonardo.it. Obtenido el 10 de marzo de 2017, desde <http://www.macchinedileonardo.it/le-macchine/didattiche>
- Historia de las cámaras oscuras (n. d.). Obtenido el 12 de marzo de 2017, desde <http://www.camaraoscuraworld.com/es/historia/>
- Mascheroni, G. (n.d.). Artigiano di Leonardo. Obtenido el 13 de marzo de 2017 desde <http://artigianodileonardo.jimdo.com>