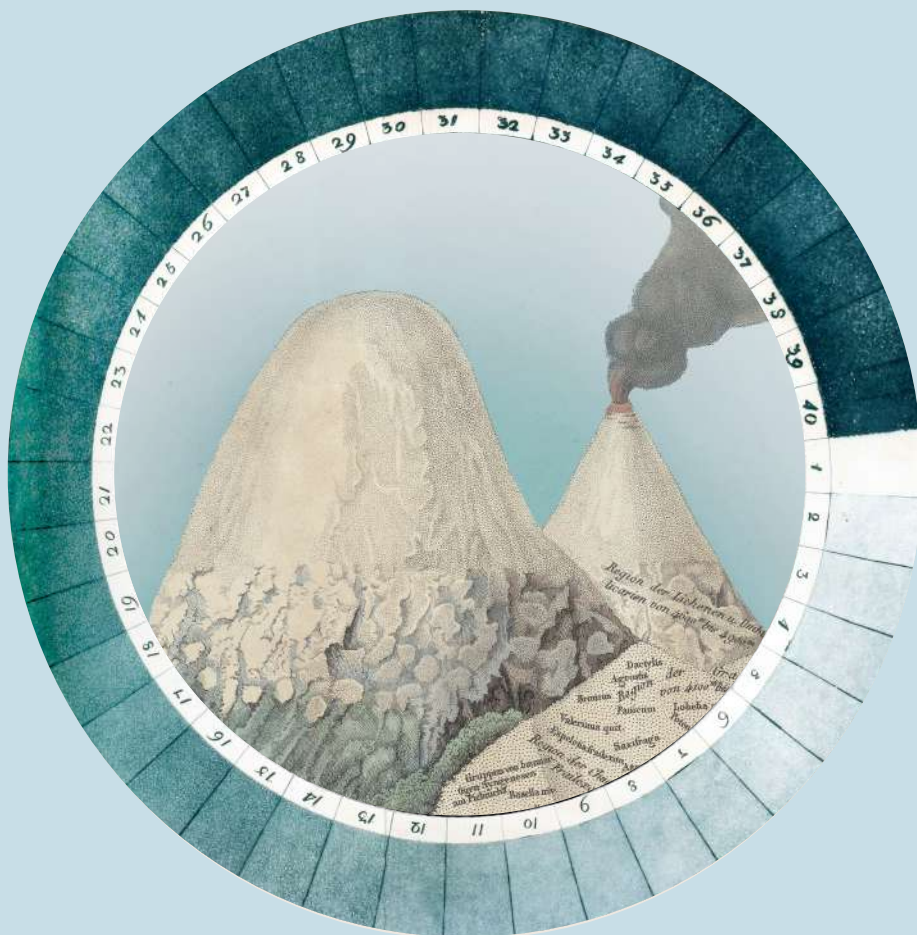


TEXTOS DE SALA EN GALEGO

Os instrumentos de
HUMBOLDT



Ferramentas para concibir
unha nova visión da natureza

OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

SALA 1

Búscanse participantes para unha ambiciosa expedición científica

En 1799 o mozo naturalista prusiano, Alexander von Humboldt, xunto ao botánico francés Aimé Bonpland, partía desde o porto da Coruña con destino a América do Sur para levar a cabo a máis completa e exhaustiva exploración científica deste subcontinente.

Humboldt tiña a convicción de que a natureza era un todo indisoluble: que os fenómenos físicos naturais e a xeoloxía do terreo determinaban a vida vexetal e animal. O seu obxectivo principal era probar esta idea mediante observacións e medicións sistemáticas.

Para logralo, equipouse cunha ampla colección dos instrumentos científicos máis modernos e precisos do momento. Con eles efectuou miles de medicións, observacións e análises que lle permitiron demostralo, desenvolver novas teorías, crear novas disciplinas científicas e concibir unha visión innovadora da natureza: a ciencia humboldtiana.

Esta exposición amosa como Humboldt, grazas aos seus instrumentos científicos, puido construír unha nova forma de entender, representar e divulgar a natureza como unha rede de conexións.



Lenda:

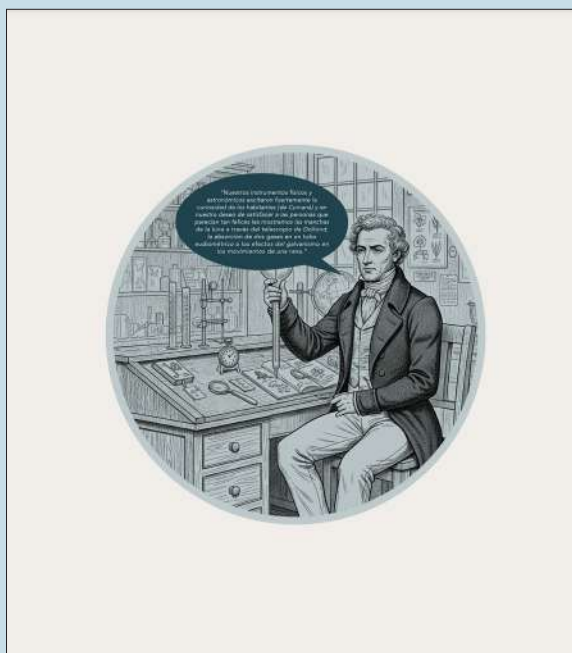
Debuxo do paquebote o Postillón de México en medio dun mar embravecido.

Custodia no Arquivo Xeral de Indias.

Ministerio de Cultura e Deporte. Arquivo Xeral de Indias (AGI), MP-INGENIOS, 259.

Cita ilustrada

«Os nosos instrumentos físicos e astronómicos excitaron fortemente a curiosidade dos habitantes (de Cumaná), e seguindo o noso desexo de satisfacer persoas que parecían tan felices, amosámoslles as manchas da Lúa a través dos nosos anteollos Dollond, a absorción de gases nun tubo eudiométrico ou os efectos do galvanismo nos movementos dunha ra».



OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

SALA 2

O mellor do mellor dos instrumentos científicos

Para a súa ambiciosa expedición, Humboldt reuniu o mellor arsenal científico do seu tempo. Cada un dos 42 instrumentos que adquiriu —fabricados con madeiras nobres, cristal e latón, e que viaxaban protexidos en estoxos forrados de veludo— era o máis preciso e portable da súa clase.

O equipo incluía termómetros para o aire e a auga, barómetros para a presión e a altitude, cuadrantes e sextantes para a latitude (incluído un de peto), e máis cronómetros e cronómetros mariños para a lonxitude. Tamén contaba con telescopios, microscopios, balanzas de precisión, compases, higrómetros, reactivos e equipo de análise químico, baterías eléctricas, electrómetros e electroscopios, botellas de Leyden, teodolitos, eudiómetros para o osíxeno, un ciánómetro para o azul do ceo, un hipsómetro, cadeas de agrimensor, estoxos de disección, etc.

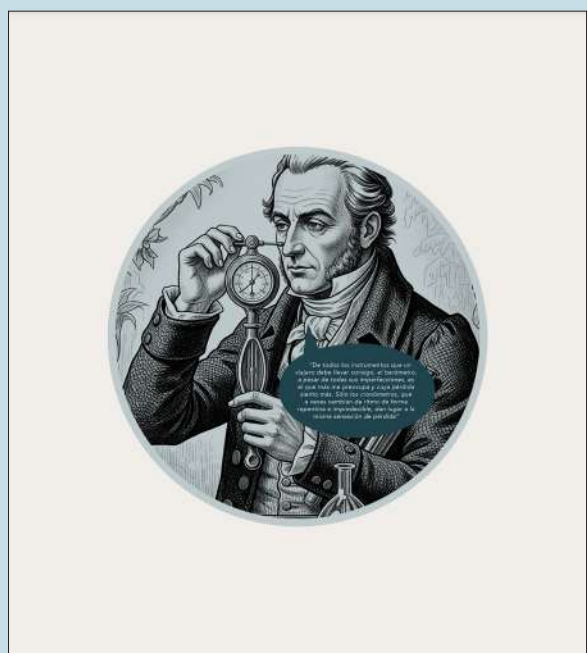
Lenda:

Microscopio segundo *Essays on the Microscope* (Londres, 1787), obra acompañada por 32 láminas gravadas que detallan a súa estrutura e os avances técnicos da instrumentación óptica da época.



Cita ilustrada

«De todos os instrumentos que un viaxeiro debe levar consigo, o barómetro, a pesar de todas as súas imperfeccións, é o que máis me preocupa e cuxa perda sinto máis. Só os cronómetros, que ás veces cambian de ritmo de maneira repentina e imprevisible, provocan a mesma sensación de perda.»



OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

SALA 2

Termómetros para medir a corrente mariña?

Para medir a temperatura, Humboldt equipouse cunha variedade de termómetros que incluía unha sonda para medir a temperatura da auga a distintas profundidades desde un barco.

Na súa navegación cara ao Ecuador, observou con atención o mar a case 1.000 km da costa. Aínda que os navegantes nativos xa sabían que nesa zona a auga era máis fría, ninguén a medira sistematicamente.

Humboldt, obsesionado con medilo todo, rexistrou a temperatura e a velocidade desa corrente, notando que nesa rexión do Pacífico a auga rolda os 14°C, mentres que noutras áreas está a uns 24°C. Acababa de descubrir a corrente que levaría o seu nome, un descubrimento que suporía un gran avance para a ciencia.

Lenda:

Mariñeiro sostendo unha sonda termométrica somerxida na auga.



Semellante inclinación merece un recoñecemento

Humboldt sentía unha gran curiosidade por medir a intensidade do campo magnético: no seu camiño polos Andes co compás de inclinación, constatou que a intensidade diminuía conforme se aproximaba ao ecuador. Porén, para a súa sorpresa, tras cruzalo, o campo seguiu diminuíndo ata chegar a unha latitude de 7° sur. Só entón a agulla comezou a xirar ao revés: acababa de descubrir o ecuador magnético.

Falando de maneira estrita, a agulla do compás indica a dirección e sentido que as liñas de forza do campo magnético terrestre levan asociados en cada punto, que son horizontais no ecuador magnético e apuntan cara ao núcleo terrestre nos polos.

Lenda:

Unha visión comparativa das alturas das principais montañas e a lonxitude dos principais ríos do mundo.

Londres, 1844. Publicado por Henry Teesdale & Co. Debuxo e gravado por J. Dower.

David Rumsey Map Collection, David Rumsey Map Center, Stanford Libraries.

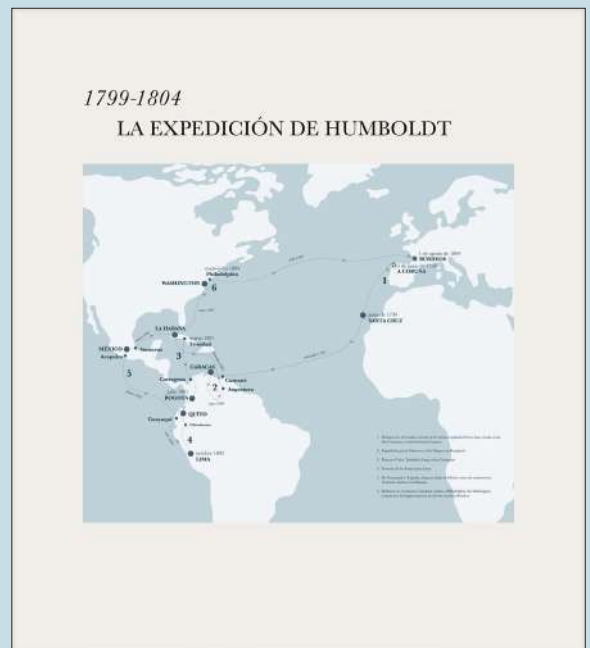


OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

SALA 2

1799-1804. A expedición de Humboldt

1. Embarca na Coruña a bordo da corveta española *Pizarro*, fai escala nas illas Canarias e continúa ata Cumaná.
2. Expedición polo Orinoco e o río Negro con Bonpland.
3. Pasa por Cuba e Trinidad, e despois visita Cartaxena.
4. Travesía dos Andes ata Lima.
5. De Guayaquil a Acapulco, logo alóxase en México antes de embarcar en Veracruz rumbo á Habana.
6. Embarca no cargueiro *Concepción* rumbo a Filadelfia. En Washington, embarca na fragata francesa *La Favorite* rumbo a Burdeos.



O barómetro, a paixón de Humboldt

Os barómetros eran os instrumentos máis importantes para Humboldt: necesitábaos para determinar a altitude durante as súas ascensións.

O barómetro fora inventado por Torricelli en 1643 para medir a presión atmosférica, pero foi Blaise Pascal quen o usou por primeira vez para calcular a elevación sobre o nivel do mar. Como regra xeral, a presión diminúe 1 hPa por cada 8 ou 10 metros de altura aumentada. Altura que é calculada ao saber a presión uniforme no nivel do mar.

Este dato era clave para a biogeografía, a ciencia creada por Humboldt que analiza a distribución de seres vivos no planeta, tanto coma as causas que determinan dita distribución: posición xeográfica, altitude, temperatura media e a súa variabilidade; condicións atmosféricas, composición química do terreo; etc.

Lenda:

Nova e mellorada visión das alturas comparativas das principais montañas e lonxitudes dos ríos do mundo. Todo meticulosamente clasificado e con procedencia de diversas fontes existentes.

De W.R. Gardner. Londres: William Darton, 58 Holborn Hill, 10 de marzo, 1823. Escultura de W.R. Gardner. 367 Strand. David Rumsey Map Collection, David Rumsey Map Center, Stanford Libraries.



OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

SALA 2

O sextante e o cronómetro, un matrimonio de conveniencia

O sextante era fundamental para determinar a latitude. Humboldt levaba dous na súa expedición, un deles de peto, de só dúas polgadas de radio, que, en palabras de Humboldt, acabou sendo ideal para realizar medidas a cabalo ou nun bote pequeno.

A lonxitude calculábase cun cronómetro de precisión que marcaba a hora de París (meridiano de referencia entón) para comparala coa hora local *in situ*. Grazas a estos instrumentos, e ás medidas que con eles se realizaron, Humboldt introduciu a latitude e lonxitude coma variables que lle permitiron entender como a vexetación cambia tanto coa altura como coa posición xeográfica. Algo que se reflectía incluso nas dúas caras da mesma montaña.

Lenda:

Cronómetro de precisión.

Lenda:

Gravado histórico dun sextante astronómico deseñado por John Hadley (1682-1744) arredor de 1730. AKG / Science Photo Library.



De medir a temperatura á invención das isothermas

Alá onde fora, Humboldt medía e anotaba a temperatura de aire, do terreo e da auga —incluídos ríos, lagos, pozas, costa— coa axuda dalgún dos termómetros que sempre levaba consigo.

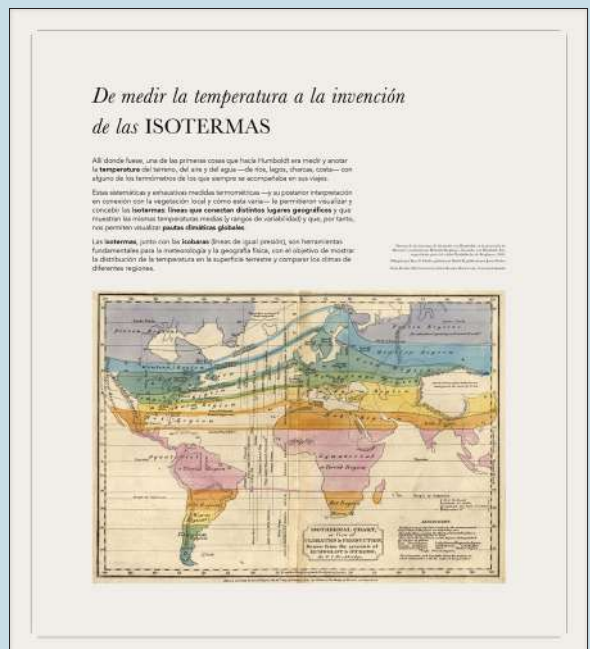
Estas medidas sistemáticas exhaustivas —acompañadas de interpretación posterior segundo a vexetación local, e como esta variaba— permitíronlle concibir as isothermas: liñas que conectan lugares coas mesmas temperaturas medias (e rangos de variabilidade) e que amosan pautas climáticas globais.

As isothermas, xunto coas isóbaras (liñas de igual presión), son ferramentas fundamentais en meteoroloxía e xeografía física, co obxectivo de amosar a distribución de temperaturas na superficie terrestre e comparar os climas de diferentes rexións.

Lenda:

“Sistema das isothermas de Alexander von Humboldt, na proxección de Mercator”, por Heinrich Berghaus e Alexander von Humboldt. Este mapa é parte do «Atlas Physikalischer de Berghaus», 1849.

Debuxado por Bar e F. Schelle, gravado por Madel II, publicado por Justus Perthes. David Rumsey Map Collection, David Rumsey Map Center, Stanford Libraries.



OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

SALA 3

Humboldt na Coruña: un ensaio xeral

Debido ao mal tempo e á presenza da frota inglesa, Humboldt tivo que permanecer dez días na Coruña antes de partir cara América na corveta *Pizarro*.

O mozo naturalista aproveitou para probar os seus novos instrumentos adquiridos en París, e realizar diversas medidas que axudaron a establecer a posición de Ferrol —lonxitude e latitude— co cronómetro e o sextante; mediu a electricidade presente no aire dunha tormenta cun electrómetro; a porcentaxe de osíxeno do aire co eudiómetro; probou o seu inclinómetro medindo a variación na inclinación magnética; e estableceu a variación na temperatura da auga na baía coruñesa, grazas a unha sonda termométrica.

Adicionalmente, explorou a paisaxe coruñesa e recolleu flora local, ademais de estudar as algas e moluscos da costa herculina.

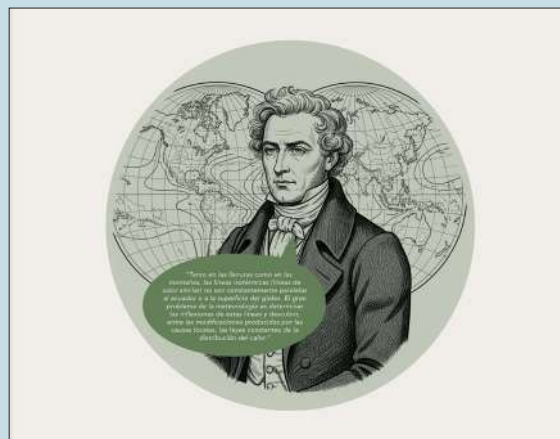
Lenda:

Mariano Ramón Sánchez (1740-1822), *Vista da Coruña*, 1792.



Cita ilustrada

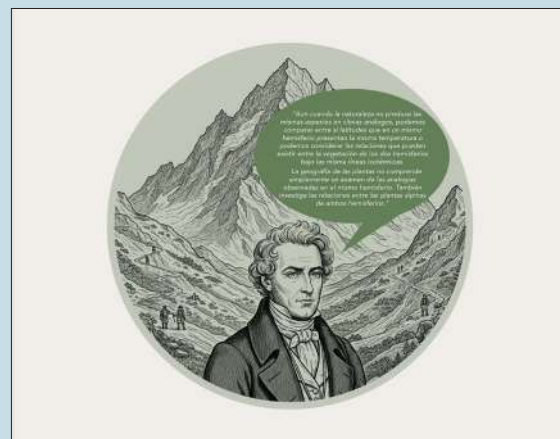
«Como nas chairas e nas montañas, as liñas isoterma (liñas de temperatura similar) non son constantemente paralelas ao ecuador nin á superficie da Terra. O gran problema da meteoroloxía é determinar os puntos de inflexión destas liñas e descubrir, entre as modificacións producidas por causas locais, as leis constantes da distribución da calor»



Cita ilustrada

«Aínda cando a natureza non produce as mesmas especies en climas análogos, podemos comparar latitudes que comparten a mesma temperatura no mesmo hemisferio, ou podemos considerar as relacións que poden existir entre a vexetación en ambos os hemisferios, baixo as mesmas liñas isoterma.

A xeografía das plantas non comprende simplemente un exame baseado en analoxías observadas. Tamén investiga as relacións entre as plantas alpinas en ambos hemisferios»



OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

SALA 3

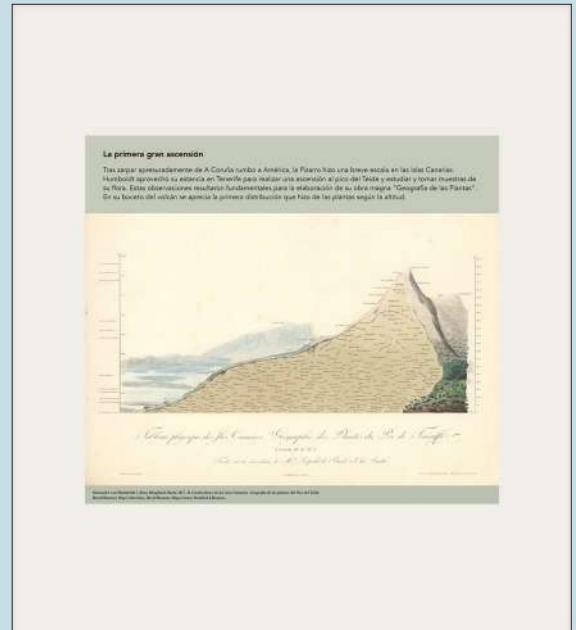
A primeira gran ascensión

Tras partir apresuradamente de A Coruña rumbo a América, a Pizarro fixo una breve escala nas Illas Canarias. Humboldt aproveitou a súa estadía en Tenerife para facer unha ascensión o pico do Teide e estudar e coller mostras da flora. O que resultaría fundamental para a elaboración da súa obra magna "Xeografía das plantas". No seu bosquejo do volcán vese a primeira distribución que fixo das plantas segundo a altitude.

Lenda:

Alexander von Humboldt e Aime Bonpland. París, 1817. *II, Cadro físico das illas Canarias. Xeografía das plantas do Pico do Teide.*

David Rumsey Map Collection, David Rumsey Map Center, Stanford Libraries.



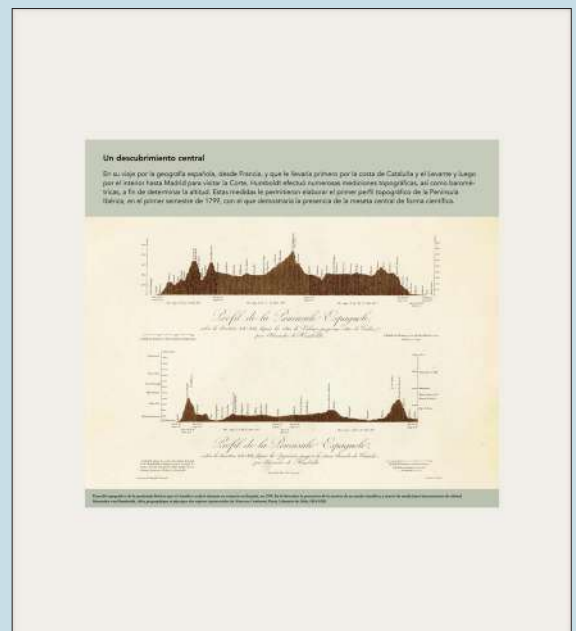
Un descubrimento central

Na súa viaxe pola xeografía española, dexe Francia, e que o levaría primeiro pola costa catalana e levantina e logo cara o interior ata Madrid, para visitar a Corte, Humboldt fixo numerosas medicións topográficas, así como barométricas, a fin de determinar a altitude. Estas medidas permitíronlle elaborar o primeiro perfil topográfico da Península Ibérica, no primeiro semestre de 1799, co que demostraría a presenza da meseta central de forma científica.

Lenda:

El perfil topográfico de la península Ibérica que el científico realizó durante su estancia en España, en 1799. En él descubre la presencia de la meseta de un modo científico, a través de mediciones barométricas de altitud

Alexander von Humboldt. *Atlas géographique et physique des régions équinoxiales du Nouveau Continent*, Paris, Librairie de Gide, 1814-1838.



OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

SALA 3

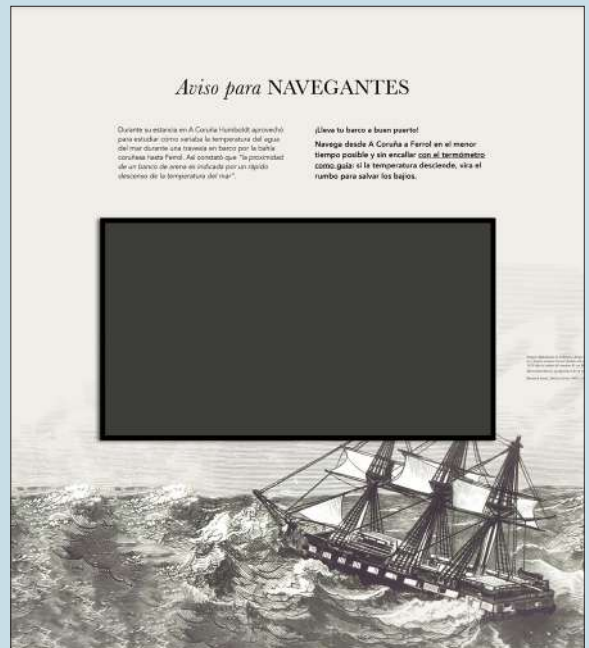
Aviso para navegantes

Durante a súa estancia na Coruña, Humboldt aproveitou para estudar como variaba a temperatura da auga do mar durante unha travesía en barco pola baía coruñesa ata Ferrol. Así constatou que «a proximidade dun banco de area vén indicada por un rápido descenso da temperatura do mar»

Leva o teu barco a bo porto!

Navega dende a Coruña a Ferrol no menor tempo posible e sen encallar, usando o termómetro como guía: se a temperatura descende, vira o rumbo para salvar os baixíos.

Lenda: Imaxe dixitalizada da British Library da páxina 219 de *Viaxe da fragata austríaca Novara arredor do mundo nos anos 1857-1859 baixo as ordes do comodoro B. von Wüllerstorff-Urbair*. (Memorias físicas e xeográficas de A. von Humboldt.) British Library, Digital Store 10027.g.10.



Sabes utilizar un sextante?

O sextante é un instrumento que permite medir a altura angular dos obxectos celestes en relación con algún punto do horizonte. A partir da lectura que se obtiña con este instrumento, os mariñeiros podían determinar a latitude na que se atopaban.

O seu manexo non é especialmente sinxelo nin intuitivo.

É necesario adquirir práctica:

1. Colle o sextante co visor ou anteollos á altura dos ollos.
2. Apunta co sextante ao horizonte a través do espello do horizonte.
3. Desbloquea o parafuso-freo e move a alidada para baixar o astro de referencia (o punto de luz) ata que este se apoie no horizonte.
4. O valor que a alidada marca no limbo graduado é a «altura instrumental», que, tras uns cálculos, permite coñecer a altura verdadeira e acudir con esta ao almanaque mariño para determinar a latitude.



OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

SALA 3

A lonxitude nun cronómetro mariño

No século XVIII a lonxitude xeográfica calculábase tomando como referencia a hora de París (daquela, o meridiano de París era o meridiano 0), que marcaba un cronómetro mariño de precisión, capaz de soportar os vaivéns da navegación en alta mar sen desaxustarse. Comparábase a hora de París coa hora local, que se determinaba *in situ*. Sabendo que cada hora de diferenza supón 15° de desprazamento (cada minuto, ¼ de grao), podían coñecerse os graos de diferenza respecto do meridiano 0, é dicir, a lonxitude xeográfica.

Compróboo ti mesmo: selecciona a hora local na pantalla táctil inferior. Na pantalla superior poderás ver a túa lonxitude xeográfica e a distancia á que te atopas de París.

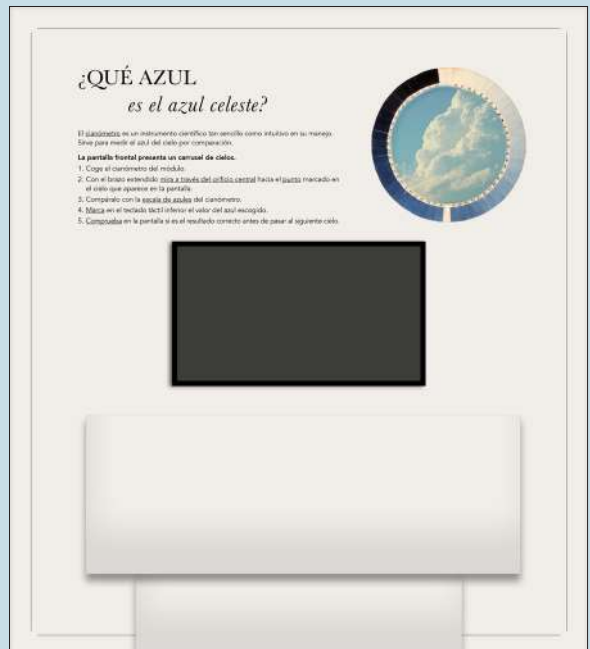


Que azul é o azul celeste?

O cianómetro é un instrumento científico tan sinxelo como intuitivo no seu manexo. Serve para medir o azul do ceo por comparación.

A pantalla frontal presenta un carrusel de ceos.

1. Colle o cianómetro do módulo.
2. Co brazo estendido, mira a través do orificio central cara ao punto marcado no ceo que aparece na pantalla.
3. Compárao coa escala de azuis do cianómetro.
4. Marca no teclado táctil inferior o valor do azul escollido.
5. Comproba na pantalla se o resultado é o correcto antes de pasar ao seguinte ceo.



OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

SALA 3

Unha agulla de inclinación e de demostración

Unha agulla (ou compás) de inclinación, inclinómetro ou aparello de medida da inclinación magnética é precisamente iso: un aparello que permite visualizar (e medir) a orientación do campo magnético terrestre, é dicir, o ángulo que forma respecto da horizontal; que é de 90° nos polos norte e sur magnéticos e de 0° no ecuador magnético.

Este módulo demostrativo permite ver como funciona e a información que achega:

- Xira o volante do globo terráqueo desde un polo magnético ata o ecuador magnético, e ata o outro polo magnético.
- Observa na réplica do inclinómetro como varía a orientación (estimada en ángulos) a medida que cambia a latitude ata acadar o ecuador magnético, e como se inverte a oscilación ao superalo.



Un barómetro para estar á altura

O barómetro resultaba un instrumento fundamental para Humboldt á hora de determinar a altura en función da presión atmosférica, dado que esta vai diminuindo conforme ascendemos desde o nivel do mar.

Este interactivo permitirache experimentar como varía a presión ao variar a altitude:

Modifica a altitude no selector da pantalla táctil e observa como cambia a presión no barómetro da pantalla frontal, ao tempo que o globo aerostático ascende ou descende.

Lenda:

O mundo físico, 1882. «Experimento de Torricelli – efecto da gravidade atmosférica»

Fondo Antigo da Biblioteca da Universidade de Sevilla.



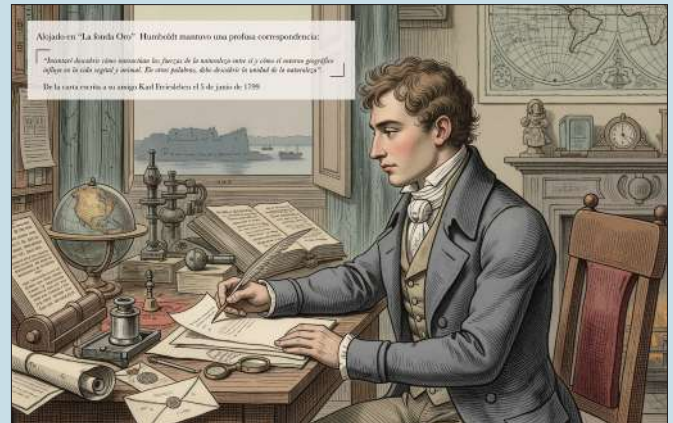
OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

SALA 3

Aloxado en "La fonda de Oro", Humboldt mantivo unha profusa correspondencia:

«Intentarei descubrir como interactúan as forzas da natureza entre si e como o contorno xeográfico inflúe na vida vexetal e animal. Noutras palabras, debo descubrir a unidade da natureza.»

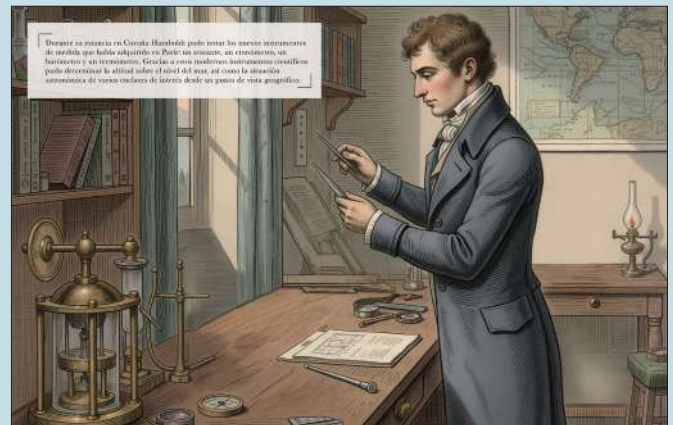
Da carta escrita ao seu amigo Karl Freiesleben o 5 de xuño de 1799.



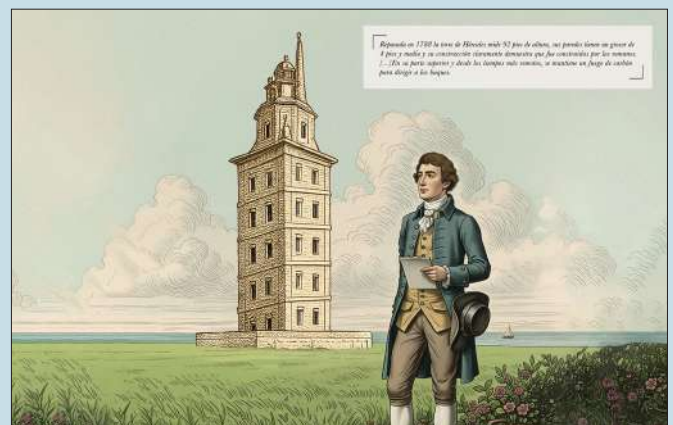
«Tivemos que esperar 10 días antes de embarcar. Durante este tempo empregámonos en preparar as plantas que recollemos nos fermosos vales de Galicia, que até agora ningún naturalista explorara, e examinamos as algas e os moluscos que as mareas do nordeste botaban en grandes cantidades aos pés do cantil sobre o que se ergue a Torre de Hércules.»



Durante a súa estancia en Coruña, Humboldt puido probar os novos instrumentos de medida que adquirira en París: un sextante, un cronómetro, un barómetro e un termómetro. Grazas a estes modernos instrumentos científicos, puido determinar a altitude sobre o nivel do mar, así como a situación astronómica de varios enclaves de interese desde un punto de vista xeográfico.



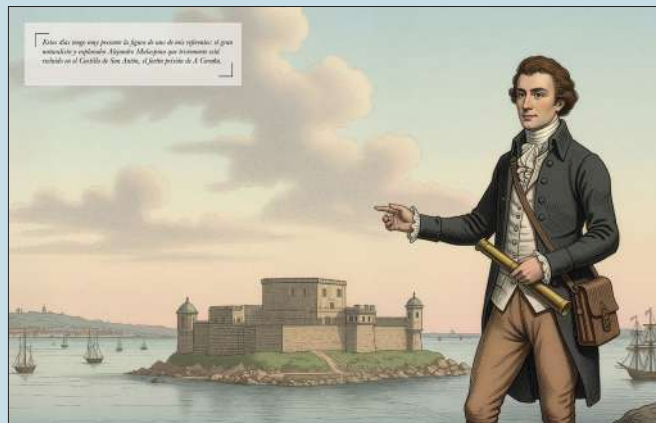
«Reparada en 1788, a Torre de Hércules mide 92 pés de altura, as súas paredes teñen un grosor de 4 pés e medio e a súa construción demostra claramente que foi feita polos romanos. [...] Na súa parte superior e desde tempos moi remotos, mantense un lume de carbón para guiar os barcos.»



OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

SALA 3

«Estes días teño moi presente a figura dun dos meus referentes: o gran naturalista e explorador Alejandro Malaspina, que tristemente está recluído no Castelo de San Antón, o fortín-prisión da Coruña.»

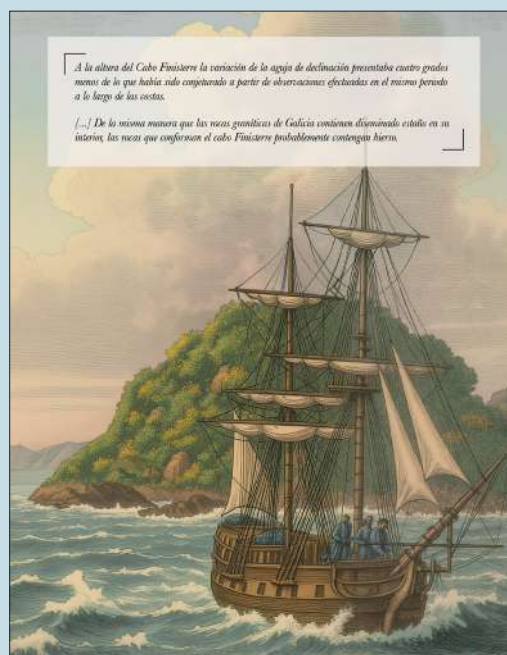


«Cruzando de Coruña a Ferrol sobre un baixío na ría fixemos varios experimentos empregando unha sonda termométrica para medir a temperatura do océano e o descenso do calor nos distintos estratos da auga. O termómetro no banco de area e preto da superficie marcaba de 12,2 a 13,3 graos centígrados, mentres que nas augas profundas marcaba constantemente de 15 a 15,3 graos centígrados. A observación de que a proximidade do banco de area se indica cun rápido descenso da temperatura do mar na superficie non só é interesante dende o punto de vista dun naturalista, senón que tamén pode chegar a ser moi importante para a seguridade dos navegantes. Os experimentos demostraron suficientemente que as variacións da temperatura, perceptibles mesmo cos instrumentos máis imperfectos, indican o perigo moito antes de que o barco chegue aos baixíos...»



«Á altura do Cabo Fisterra, a variación da agulla de declinación presentaba catro graos menos do que se conxecturara a partir das observacións efectuadas no mesmo período ao longo das costas.

[...] Do mesmo xeito que as rochas graníticas de Galicia conteñen estaño diseminado no seu interior, as rochas que conforman o Cabo Fisterra probablemente conteñan ferro.»



OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

SALA 4

Unha nova ciencia, unha nova visión da NATUREZA

En 1804 Humboldt regresou a París, estivera máis de cinco anos fóra e volveu con centos de debuxos e miles de anotacións de todo tipo. Recollera espécimes de 6.000 especies vexetais, das que un terzo eran descoñecidas. Por outro lado, chegara coa cabeza chea de intuicións.

Era unha colección inmensa de datos, medidas e ideas que lle permitiron facer grandes descubrimentos, concibindo e anticipando teorías revolucionarias, e creando unha nova ciencia: a bioxeografía ou xeografía vexetal. Ademais de concibir unha nova visión do mundo, na que toda forza da natureza está conectada cas demais.

Para explicalo, desenvolveu unha forma revolucionaria de presentar a información científica: a través de vistosas ilustracións, que nomeou *Naturgemälde* (pintura da natureza), tan suxerentes e atractivas, como axeitadas para a visualización das conexións entre as diferentes forzas da natureza e como estas determinan a vida.

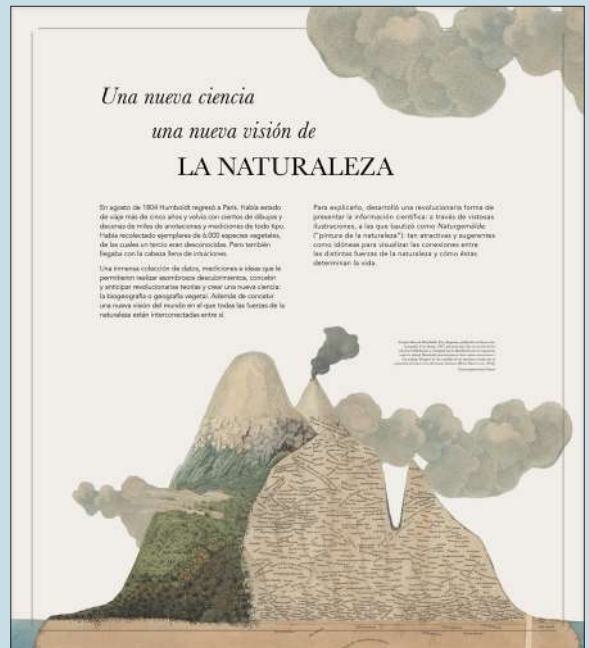
Lenda:

Cadro físico de Humboldt. Este diagrama, publicado no *Ensaio sobre a xeografía das plantas*, 1807, presenta a sección dos volcáns Chimborazo e Cotopaxi coa distribución da súa vexetación, dependendo da súa altitude. Posteriormente, Humboldt fíxolle varias correccións a este traballo. Investigacións posteriores determinaron que a vexetación descrita era a do monte Antisana. [Pierre Moret et al., 2019] Zentralbibliothek Zürich.

Naturgemälde (“pintura da natureza”)

O *Naturgemälde* orixinal era un gravado despregable de 90 x 60 cm coloreado que amosaba o monte Chimborazo en sección transversal e a distribución das plantas desde o val ata a liña de neve. No ceo reflectíase a altura doutras montañas coñecidas e a altura alcanzada por Gay-Lussac durante as súas ascensións en globo. Á esquerda e á dereita da montaña había ata 16 columnas nas que, xunto coa altitude en metros e toesas (equivalente a 1,949 m), consignábase a variación de distintos parámetros e fenómenos naturais en función dela: refracción dos raios de luz; fenómenos eléctricos atmosféricos; vexetación, especies e cultivos; diminución da gravidade; humidade relativa; presión, temperatura, composición química e intensidade do azul do aire; etc.

En definitiva, unha representación visual integral que amosaba as correlacións entre a vida animal e vexetal en función da altitude, da latitude e das condicións atmosféricas, meteorolóxicas e do terreo.



OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

SALA 4

A xeografía da vida

O método de traballar de Humboldt constaba de catro premisas fundamentais: explorar, recolectar, medir e conectar. Durante a súa expedición, en calquera lugar no que estivese, observaba e anotaba as formas, tipos e comportamentos que presentaban a flora e fauna, así como recollía espécimes vexetais, animais e minerais; ao mesmo tempo, realizaba unha gran variedade de medidas: calculaba coa maior precisión posible a posición xeográfica; calidade da luz solar (medindo o azul do ceo); precipitacións e humidade; a natureza química do chan e a atmosfera; etc. Con toda esta información, tentaba establecer conexións; identificar causas e consecuencias; e, finalmente, visualizar patróns globais.

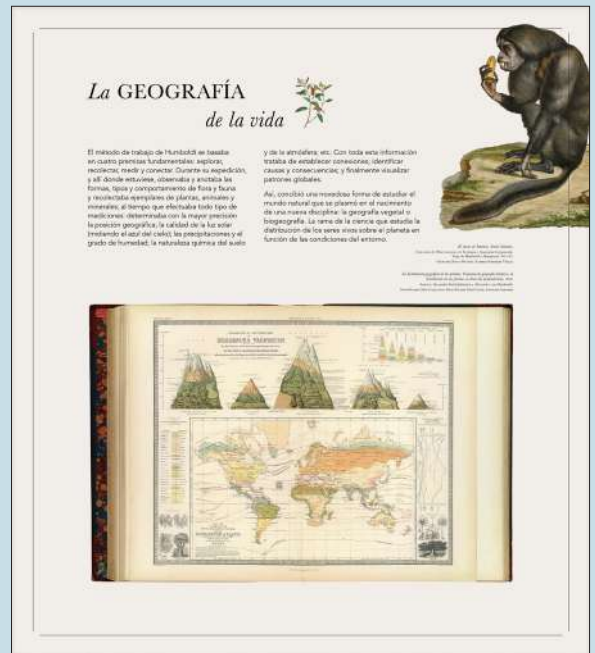
Deste modo, concibiu unha nova forma de estudar o mundo natural, que expresou no nacemento dunha nova disciplina científica: a bioxeografía, ou xeografía vexetal. A rama da ciencia que estuda a distribución dos seres vivos polo planeta, en relación ás condicións que presenta cada contorna.

Lenda:

O mono de Satanás. *Simia Satanas*. Colección de Observacións de Zooloxía e Anatomía Comparada. A viaxe de Humboldt e Bonpland. 1811-33. World Bank group/Lambert Schneider Verlag.

Lenda:

A distribución xeográfica das plantas. *Esquema de xeografía botánica, distribución das plantas na dirección perpendicular*, 1850. Autores: Alexander Keith Johnston e Alexander von Humboldt. David Rumsey Map Collection, David Rumsey Map Center, Stanford Libraries.



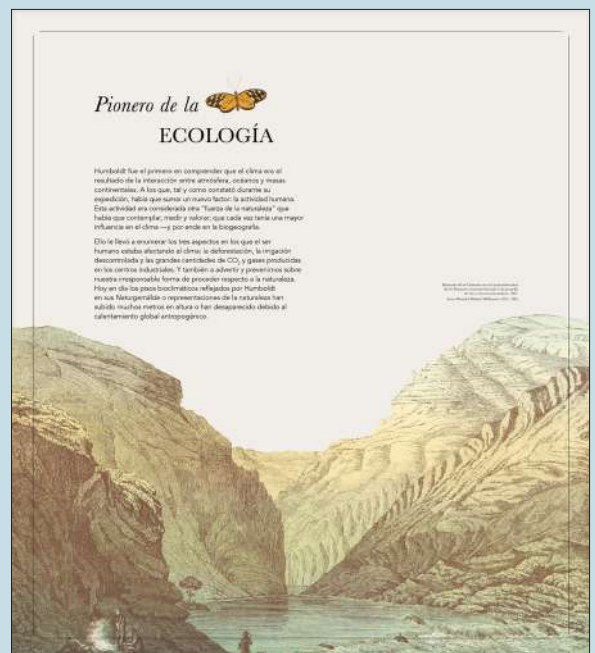
Pioneiro na ecoloxía

Humboldt foi o primeiro en comprender que o clima era o resultado da interacción entre atmosfera, océanos e masas continentais. E a isto, tal como constatou durante a súa expedición, había que sumar un factor novo: a actividade humana. Considerou esta actividade outra «forza da natureza» que debía ser contemplada, medida e valorada, xa que tiña unha influencia crecente no clima —e polo tanto na bioxeografía.

Iso fíxolle enumerar as tres formas principais en que a especie humana estaba a afectar o clima: a deforestación, a irrigación incontrolada e as grandes masas de CO₂ e outros gases producidos industrialmente. Na mesma liña, tamén o levou a advertirnos sobre a nosa irresponsable forma de proceder con respecto á natureza. Hoxe en día, os pisos bioclimáticos reflectidos por Humboldt nos seus *Naturgemälde* ou representacións da natureza, xa subiron moitos metros en altura ou desapareceron debido ao quecemento global antropoxénico.

Lenda:

Ilustración que representa o río Colorado xunto á desembocadura do río Diamante, enfatizando a xeografía do río e o terreo circundante, 1861. Autor: Heinrich Balduin Möllhausen (1825-1905).



OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

SALA 4

O legado de Humboldt na cartografía

O éxito e o exemplo do *Naturgemälde* de Humboldt, grazas á súa combinación de atractivo e rigor científico, pronto calou entre os seus contemporáneos científicos. O exemplo máis claro quizais sexa a influencia decisiva que exerceu sobre o xeógrafo e cartógrafo alemán Heinrich Berghaus, quen, inspirado polas representacións da natureza de Humboldt —así como alentado polo naturalista, a quen coñecera en 1815 e con quen mantivo contacto desde entón— concibiu en 1838 os primeiros mapas físicos que, anos máis tarde, en 1845, darían lugar á publicación do seu *Physikalischer Atlas*. O primeiro atlas físico e temático.

Lenda:

Mapa terrestre para a visión xeral da distribución do sólido e o líquido. Heinrich Berghaus, *Physikalischer Atlas* (Atlas Físico), vol. 1, 1845. David Rumsey Map Collection, David Rumsey Map Center, Stanford Libraries.

Lenda:

Sección idealizada da estratigrafía da Terra, xunto con fósiles representativos do devandito estrato. Heinrich Berghaus, *Physikalischer Atlas* (Atlas Físico), vol. 1, 1845. Cortesía da Linda Hall Library of Science, Engineering & Technology.



Naturgemälde, unha ferramenta esencial para os científicos

Alén dunha cuidada e fermosa ilustración, o *Naturgemälde* era un instrumento científico de grande utilidade para os naturalistas, ao presentar moita información e facela facilmente visible. Este interactivo permitírache comprobalo:

1. Na pantalla inferior preséntase un cuestionario de preguntas tipo test.
2. Selecciona unha resposta á pregunta formulada na pantalla.
3. Comproba dun simple vistazo se acertaches (ou cal era a correcta) no *Naturgemälde* antes de pasar á seguinte pregunta.

Lenda:

Viaxe á cima do Chimborazo, realizada o 24 de xuño de 1802. Xeografía das plantas nos Andes de Quito. David Rumsey Map Collection, David Rumsey Map Center, Stanford Libraries.



OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

SALA 4

Cita ilustrada

«Cando os bosques son destruídos, como fan os plantadores europeos en cada parte de América, con imprudencia precipitada, os mananciais sécanse completamente, ou resultan ser menos abundantes; os leitos dos ríos que permanecen secos durante un gran período do ano convértense en torrentes cada vez que abundantes choivas caen sobre as montañas. Como a herba e o musgo desaparecen coa maleza da ladeira da montaña, a auga que cae en forma de choiva non ve o seu curso impedido; e en lugar de aumentar lentamente o nivel dos ríos vía filtracións progresivas, escorrega polas ladeiras durante as balloadas, arrastrando o chan que estaba solto, formando inundacións repentinas e destrutivas. É de aquí que resulta o feito de que a deforestación, a falta de mananciais permanentes e a existencia de torrentes son fenómenos que están estreitamente relacionados entre si»



Créditos de exposición

Exposición temporal: *OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT.
Ferramentas para concibir unha nova visión da natureza.*

Ministerio de Ciencia, Innovación e Universidades
Diana Morant Ripoll

Secretaría de Estado de Ciencia, Innovación e Universidades
Juan Cruz Cigudosa García

Fundación Española para a Ciencia e a Tecnoloxía
Izaskun Lacunza Aguirrebengoa

Museo Nacional de Ciencia e Tecnoloxía
Fernando Luis Fontes Blanco

Comisariado
Miguel Ángel Puig-Samper Mulero

Programación e coordinación
Miguel Barral Precedo

Diseño, montaxe, produción executiva e gráfica
Estudio GD Gestión de Diseño, S. L.
Intega (Interiores Galicia, S. L.)

Producción de audiovisuais e interactivos
Qatrogatos

Colaboración catálogo
Fundación Ignacio Larramendi
Ignacio Carlos Hernando de Larramendi Martínez

Apoio loxístico e de coordinación
Personal Museo Nacional de Ciencia y Tecnología

Agradecementos
Museo Naval
Fundación Ignacio Larramendi
Xosé Antón Fraga Vázquez



OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

+ INFO

HIGRÓMETRO DE SAUSSURE

Lerebours et Secretan

1835-1870

MUNCYT. CE1985/004/0039

O higrómetro de cabelo ou de Saussure, que toma o seu nome do seu inventor, o naturalista, alpinista e meteorólogo suízo Horace-Bénédict de Saussure, é un aparello de meteoroloxía que permite medir a humidade relativa do aire: a cantidade de auga presente na atmosfera en forma gasosa ou como minúsculas pingas en suspensión. Forma parte dos chamados higrómetros de absorción, que se basean na propiedade que posúen moitas substancias orgánicas de alongarse pola humidade e acurtarse pola sequidade, sendo os de cabelo os máis usados debido á sensibilidade do pelo. Porque os higrómetros de cabelo montan un pelo tensado: cando o ambiente é húmido alongase e cando está seco acúrtase. Os cambios de lonxitude reflíctense nunha agulla sobre unha escala de humidade relativa, que previamente foi calibrada expondo o pelo a un ambiente completamente seco e a outro saturado de vapor de auga.

Este exemplar foi fabricado pola prestixiosa casa parisina *Maison Lerebours et Secretan*, especializada na construción de instrumentos ópticos e científicos de gran precisión, entre 1835 e 1870, cando a *maison* se atopaba na cúspide do seu prestixio, como demostra que fose provedora do Observatoire de París.

A maior peculiaridade deste higrómetro de Saussure é que emprega un cabelo humano —outros modelos recorrían a pelos de cabalo, que foi o que usou o seu inventor no prototipo— tensado e desengraxado para favorecer a absorción da humidade do ambiente. En concreto, este ten un cabelo louro, que ao parecer é o que se deforma con máis regularidade. O cabelo suxeitase ao marco polo seu extremo superior. O inferior está anoadado a unha polea, cunha agulla indicadora no seu eixo, da que pende un peso ínfimo: cando a humidade aumenta, o pelo alongase e o peso fai xirar a polea e a súa agulla nun sentido. Cando se acurta, polea e agulla xiran en sentido contrario sobre a escala.

Desde a súa invención en 1783, este tipo de higrómetros foi amplamente usado ata mediados do s. XX cando xurdiron outros máis precisos

TEODOLITO

George Adams

1755-1765

MUNCYT. CE1985/004/0354

A orixe do teodolito é incerta. Crese que data do s. XVI, pero non está claro nin o ano nin o seu inventor. De feito, é posible que instrumentos semellantes foran desenvolvidos por distintos inventores de forma independente na mesma época. Así, fontes sinalan que foi inventado no 1615 polo holandés Snellus, a partir do *quadratum geometrium*, un instrumento enxeñado por Tycho Brahe; aínda que outras apuntan ao cartógrafo británico Leonard Digges como o seu inventor ou, polo menos, dun instrumento precursor, aló por 1551. Esta última hipótese está avalada pola certeza de que precisamente foi Digges quen acuñou o termo teodolito na súa "Pantometría" de 1571, onde se describía un círculo horizontal dividido en 360 graos, mediante o cal se medían ángulos horizontais; descrición que se axusta bastante mellor a un antecesor máis simple e minimalista que a un teodolito clásico como o aparello exposto; e obra do recoñecido fabricante de instrumentos ópticos e científicos George Adams pai —pois o seu fillo sucedeu no cargo como consumado fabricante—, quen chegou a ocupar o posto de construtor de instrumentos do rei Xurxo III de Inglaterra.

Fora como fose, desde a súa irrupción o teodolito converteuse no instrumento por excelencia para medidas angulares precisas e, con iso, nunha ferramenta fundamental na astrofísica, xeodesia e topografía.

Máis alá da súa aparente vistosidade, a clave do seu funcionamento reside nos dous aneis ou arcos graduados e perpendiculares sobre os que se engrena o visor telescópico e que permiten medir con precisión a distancia angular que percorre este no plano vertical e/ou no horizontal. Mentres que os parafusos permiten fixar a posición tanto do visor como dos círculos graduados: así, apúntase a un dos obxectos ou puntos de referencia co visor, fíxase a orixe do círculo nese punto e a continuación desprazase o visor ata apuntar ao segundo obxecto. Fíxase a posición do visor e obsérvase o ángulo que marca.

OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

+ INFO

PLUVIÓMETRO

1870-1900

MUNCYT. CE1985/004/0932

No seu ensaio *"O infinito nun xunco"*, Irene Vallejo sinala que os inventos máis perfectos son aqueles que apenas experimentaron cambios desde a súa aparición, como sucede co lapis ou o libro. Nesta categoría habería que engadir tamén ao, en aparencia humilde, pluviómetro, un instrumento meteorolóxico xurdido séculos antes de Cristo e que, en esencia, mantense igual: basicamente, trátase dun depósito graduado que permite recoller e medir a cantidade de chuvia caída nun determinado período de tempo nunha área concreta. Ou, se se entende mellor, a cantidade de litros por metro cadrado.

Os pluviómetros xurdiron de forma independente en diferentes partes do mundo desde épocas remotas: na India arredor do s. IV a. C., en Asia Menor no s. I d.C., e en China no s. XIII. Sen embargo, en Europa non se ten constancia deles ata 1639 da man do italiano Benedetto Castelli. E non sería ata un século máis tarde que o seu uso se estendeu e popularizou, motivado polo crecente interese pola disciplina recentemente creada da meteoroloxía.

O instrumento exposto adscribese entre os pluviómetros cónicos: contan con dous corpos cilíndricos encaixados co fin de minimizar as perdas tanto por salpicaduras como por evaporación. Así, o superior ten forma de funil ou cónica e serve para recoller a auga e depositala no inferior, graduado, que é o que permite a medición. É probable que fose en Prusia onde se construíron os primeiros exemplares cónicos, arredor de 1717. E tamén entón empezouse a sistematizar as medidas pluviométricas cun rexistro periódico das precipitacións co propósito de establecer patróns climáticos e climatolóxicos anuais para mellorar a produción agrícola.

Este pluviómetro, ademais, encádrase na categoría de instrumentos non rexistradores, xa que só documenta a cantidade total de auga recollida nun período de tempo, pero non como evolucionou a precipitación nese intervalo. Algo que si fan os pluviómetros rexistradores; na práctica, pluviógrafos, pois rexístrano nun papel gráfico.

CADEA DE AGRIMENSOR

1850-1930

MUNCYT. DE1995/022/0006

(DEPÓSITO DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL; MINISTERIO DE FOMENTO)

Tamén chamada cadea de Gunter en honra ao seu inventor, o reverendo e matemático inglés Edward Gunter, quen a concibiu arredor de 1620.

A cadea de agrimensor é un instrumento para medir distancias que destaca pola súa funcionalidade: compensa a súa falta de precisión e pouca sensibilidade cunha gran facilidade de manexo que a fai idónea para medir distancias en terreos irregulares e en aplicacións nas que non é necesario ser extremadamente preciso, como por exemplo na agrimensura.

O seu deseño non pode ser máis sinxelo nin o seu uso máis intuitivo: a cadea consta dunha serie de varelas metálicas ríxidas de 20 cm cada unha, ensambladas entre si mediante elos e rematadas cunha asa en cada un dos seus extremos. Ademais, estas asas e os elos intermedios permiten introducir agullas que, ao cravalas no chan, garanten manter a cadea tensa e ao mesmo tempo evitar que se desprace. De feito, a forma habitual de manexala era entre dúas persoas: unha diante cun xogo de agullas que ía inserindo conforme despregaba as varelas e outra na parte traseira que sostíña o extremo final, recollía as agullas e levaba a conta da distancia. Cando a persoa que abría camiño despregaba completamente a cadea antes de completar a medida, esperaba a que a alcanzase o seu compañeiro antes de volver poñerse en marcha e repetir o proceso.

A cadea orixinal tiña unha lonxitude de 22 iardas ou 60 pés. Unha elección que agora resulta estraña pero que na súa época tiña todo o sentido: 10 cadeas equivalían a un furlong, 80 cadeas a unha milla e unha superficie de 10x10 cadeas a un acre. Ademais, as 22 iardas da cadea de Gunter definen o tamaño exacto do longo dun campo de cricket, un deses asuntos cos que un inglés non xoga.

OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

+ INFO

ELECTROSCOPIO

1853-1858

MUNCYT. CE1985/004/0375

Os electroscopios son unha das ferramentas máis veteranas do arsenal de instrumentos científicos, ademais do primeiro instrumento de “medida” eléctrica. Non en van, o primeiro electroscoPIO foi inventado polo físico inglés William Gilbert nos albores do s. XVII co fin de determinar a presenza de carga eléctrica nun corpo. Unha antigüidade que xustifica a súa capacidade limitada (e con iso a “medida” entre comiñas), xa que só permiten detectar a presenza de carga eléctrica e, no mellor dos casos, facer unha estimación cualitativa.

Os electroscopios clásicos agrúpanse en dúas grandes categorías ou tipos: os de esfera de sabugueiro, os primeiros en ser inventados, en 1754, polo físico británico John Canton, moi simples e limitados; e os de láminas de ouro, da man do tamén físico británico Abraham Bennet, xurdidos en 1787, xa máis sofisticados e con maior sensibilidade.

Curiosamente, este modelo é un híbrido entre ambos, pois, aínda que contén dúas esferas de sabugueiro, o seu deseño e funcionamento emparentan directamente cos de láminas de ouro: as esferas de sabugueiro vesen nos extremos de senllos cables metálicos que penduran da parte superior da campá de vidro pechada e selada, conectados á barra metálica que atravesa a tapa e que está coroada por unha bola ou peza metálica. Ao poñer en contacto o corpo (presumiblemente) cargado de electricidade coa bola, a carga flúe a modo de corrente pola barra ata os dous cables e, finalmente, á superficie das esferas de sabugueiro —un material illante— que adquiren entón a mesma carga eléctrica, o que provoca que entre ambas xurda unha forza de repulsión que as impulsa a separarse. Tanto máis canto maior é a carga eléctrica.

Pola súa parte, as dúas pezas metálicas a modo de varelas verticais que parten da base exercen unha función protectora: se as esferas ao separarse chegasen a tocar o vidro poderían deteriorarse. A presenza destas pezas evita que iso suceda, xa que, ao entrar en contacto con elas, as bolas de sabugueiro descárganse e recuperan a súa posición orixinal.

MICROSCOPIO

John Cuff

1760-1770

MUNCYT. CE1985/004/0943

Os microscopios, tal como os entendemos —eses polos que todos miramos nalgunha ocasión— son, en rigor, microscopios compostos, é dicir, con 2 ou máis lentes na súa óptica. En contraposición cos denominados microscopios simples que, esencialmente, eran lentes de (moito) aumento.

Crese que o microscopio (composto) foi inventado polos irmáns neerlandeses Jansen, prestixiosos fabricantes de lentes e anteollos, que foron os primeiros en dispoñer dúas delas nos extremos dun tubo oco e comprobar que aumentaban o tamaño das cousas máis pequenas. Non obstante, considérase que o primeiro microscopio composto práctico ou moderno foi o ideado por Robert Hooke en 1603. O microscopio de Hooke é un exemplo de microscopio de trípode, chamado así por estar montado sobre un soporte en lugar de ter que suxeitarse ca man (como as lupas), e constaba de 3 lentes: unha no obxectivo e dúas no ocular; ademais de incorporar unha fonte de luz para aumentar a luminosidade da mostra.

O deseño dos microscopios apenas experimentou cambios importantes nos dous séculos posteriores. Proba diso é este microscopio, obra do prestixioso fabricante John Cuff, tamén de trípode —ou de soporte— e que, como o de Hooke, incorpora 3 lentes no tubo e un sistema para iluminar a mostra. A gran diferenza é o sistema de enfoque, que no de Hooke era mediante un sistema de 4 tubos concéntricos e extensibles, e neste mediante un parafuso micrométrico vertical que permite axustar a posición óptima das lentes.

O parafuso micrométrico é unha peza que incorporou precisamente Cuff aos microscopios arredor de 1745. Neste exemplar pódese apreciar xusto detrás do extremo superior do soporte vertical. Se un se fixa, observa que dito soporte está integrado por dúas barras, piares ou pezas planas, unha fixa e outra móbil, que se despraza sobre a súa compañeira. O parafuso está suxeito por un extremo á primeira e polo outro á segunda. Deste xeito, ao xiralo permite desprazar lixeiramente a barra móbil e con iso axustar finamente a posición do sistema óptico. Este modelo conta con seis obxectivos de diferente potencia.

OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

+ INFO

BARÓMETRO

A. Masino & Co. 1840-1860

MUNCYT. CE1985/004/0017

O barómetro, un instrumento que serve para medir a presión atmosférica, foi inventado por Evangelista Torricelli en 1643 como un montaxe experimental: un estreito tubo de vidro parcialmente cheo de mercurio, co extremo superior pechado e o inferior aberto mergullado nun depósito aberto e tamén cheo de mercurio, de tal modo que o peso da columna de aire (é dicir, a presión atmosférica) determinaba o nivel do mercurio no depósito e no tubo. Ao aumentar a presión, o mercurio do depósito era empurrado cara abaixo e parte accedía ao interior do tubo, co que a columna de mercurio ascendía; e ao revés.

O uso deste dispositivo como instrumento práctico de medida xurdiu pouco despois, cando Blaise Pascal o empregou para medir a presión durante a súa ascensión a unha montaña e así constatar que esta diminuía coa altitude; ao mesmo tempo que Boyle e Hooke comprobaron que tamén variaba coas condicións meteorolóxicas, o que permitía predicir con certa antelación o tempo.

Este modelo enmárcase dentro dos denominados barómetros de banxo, así chamados pola súa forma, similar á do instrumento musical. Pero é tamén un barómetro de cuadrante e ademais un barómetro de sifón; un tipo de barómetro descendente directo do de Torricelli: conta cun tubo co extremo superior pechado, pero onde o extremo inferior ten forma de U, cunha segunda rama moito máis curta e aberta á atmosfera, sensible á presión do aire, e onde se engadiu un mecanismo de contrapesos e poleas. Un dos pesos flota no mercurio; ao variar a presión, o mercurio sobe ou baixa desprazando o peso, o que fai xirar a polea cuxo movemento se transmite á agulla indicadora do cuadrante.

Os barómetros de banxo apareceron a principios do s. XIX, xusto cando os barómetros deixaron de ser meros instrumentos meteorolóxicos para converterse en obxectos decorativos valorados e codiciados.

INCLINÓMETRO

1900-1920

MUNCYT. DO 1995/031/0207

(DEPÓSITO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS, UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID)

Un compás ou círculo de inclinación, inclinómetro ou, simplemente, aparello de medida da inclinación magnética é precisamente iso: un instrumento que mide a inclinación magnética nunha posición concreta sobre a superficie terrestre. Agora ben, que é a inclinación magnética? Para entendela hai que partir de que a Terra compórtase como un xigantesco imán, con dous polos magnéticos —o polo sur magnético e o polo norte ídem, ao que apunta o compás tradicional— e cun campo magnético asociado, evidenciado pola existencia de liñas de forza que van dun ao outro. Así pois, a inclinación magnética é o ángulo que forman esas liñas do campo magnético coa superficie terrestre. E varía desde 90° nos polos magnéticos ata 0° no ecuador (magnético).

Dende este punto de vista, cobra todo o sentido o deseño do aparello: unha agulla que, en lugar de xirar libremente nun disco ou habitáculo horizontal como no caso do compás, faino nun círculo ou semicírculo vertical graduado (ás veces enmarcado nun soporte).

E outro tanto cabe dicirse da súa utilidade: o ángulo marcado indícanos can próximos estamos ao ecuador magnético, cuxa localización exacta era, de feito, un dos obxectivos da expedición de Humboldt. Pero ao mesmo tempo, a inclinación magnética nunha determinada posición de latitude coñecida dá pistas sobre a natureza dos minerais presentes no chan e, en concreto, do seu magnetismo. Se a inclinación magnética é maior da esperada, é porque hai outro "imán" preto que "tira" da agulla.

O aparello exposto consiste nun cuadrante metálico graduado e unha agulla imantada que pode oscilar sobre a escala do arco. Á hora de medir a inclinación magnética, o cuadrante graduado colócase alineado co plano do meridiano magnético; é dicir, o plano vertical que vai dun polo magnético ao outro da Terra. Nesta disposición, o ángulo da agulla establece a inclinación magnética nese lugar.

OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

+ INFO

GRAFÓMETRO

Vicente Comas

1690-1770

MUNCYT. CE1992/014/0007

Un grafómetro é un instrumento para medir ángulos horizontais amplamente empregado en topografía para a realización de planos e levantamento topográficos de terreos e fincas. Xeralmente en combinación coa cadea de agrimensor ou outro instrumento que permita medir distancias; aínda que por si só tamén permite calcular distancias por triangulación.

Aínda que algunhas fontes apuntan que podería ter sido inventado polo matemático italiano Niccolò Fontana Tartaglia na primeira metade do s. XVI, a maioría atribúe a súa invención (polo menos na súa forma máis coñecida) ao enxeñeiro, inventor e gravador francés Philippe Danfrie en 1597, ano no que se publicou a súa "*Declaration de l'usage du Graphometre*". O seu deseño permaneceu máis ou menos constante durante os seguintes tres séculos, nos que gozou de gran popularidade; aínda que moitos modelos posteriores incorporaban compases. É o caso deste instrumento, obra do fabricante de instrumentos ópticos e científicos Vicente Comás, quen estableceu o seu obradoiro en Barcelona na primeira metade do s. XIX.

Na súa forma máis habitual, o grafómetro componse dunha media circunferencia rixida co seu correspondente diámetro e cun visor en cada extremo. E, disposta sobre aquel, xusto no seu centro, unha regra móbil, a alidada, que pode xirar sobre o diámetro e que igualmente está rematada por dous visores. Todo isto disposto sobre un soporte con pé.

Así as cousas, o seu funcionamento resulta bastante intuitivo: unha vez fixado sobre o chan en posición horizontal e coa alidada disposta sobre o diámetro, apúntase a un dos puntos de referencia a través dos catro visores e, a continuación, desprazase a alidada ata que a través do seu par de visores se vexa o segundo punto de referencia, momento no que mídese o ángulo na escala gravada na semicircunferencia. A partir do s. XIX, moitos grafómetros substituíron os visores clásicos —unha simple fenda nunha placa metálica— por outros telescópicos, con lentes de aumento que permitían apuntar a obxectos máis afastados e, con iso, ampliar o seu campo de acción e mellorar a súa precisión.

HIPSÓMETRO

Graselli y Zambra

1860-1880

MUNCYT. CE1985/004/0761

O hipsómetro é esencialmente un termómetro que serve para medir a presión atmosférica e/ou a altitude. ¿Pero un termómetro non indica temperaturas? Si, pero o funcionamento do hipsómetro baséase no denominado Principio termométrico da hidrometría, postulado por Fahrenheit en 1724 e comprobado experimentalmente por De Luc en 1762; segundo o cal, a temperatura de ebulición dos líquidos en xeral e da auga en particular diminúe ao diminuír a presión: a presión ambiente a auga ferve a 100°C. Unha variación de 0,04°C na temperatura de ebulición que marca o termómetro do hipsómetro equivale a unha variación de 1 mb de presión. Ou, se se prefire, cada grao de variación na temperatura de ebulición supón unha diferenza de 27 mb na presión.

Pero, ao mesmo tempo, a presión atmosférica diminúe conforme se ascende, tal e como xa demostrara Pascal en 1648. Sendo así, a presión e a altitude pódense determinar medindo a temperatura á que ferve unha mostra de auga.

Non obstante, aínda houbo que esperar case cen anos para que o hipsómetro fose inventado, presumiblemente polo francés Victor Regnault arredor de 1850. Para cumprir co seu dobre propósito, o hipsómetro conta, como non podía ser doutro xeito, cun termómetro encerrado nunha especie de cheminea tubular, na cuxa base se atopa un depósito para conter o líquido e, xusto por debaixo deste, un chisqueiro. Ao quentar o líquido ata que ferve, os gases desprendidos ascenden pola cheminea e rodean o termómetro, que sinala a temperatura de ebulición; que, coa axuda de unhas táboas, permite determinar a presión atmosférica e a altitude.

Pero aínda hai máis, porque a unha altura e presión coñecidas, o punto de ebulición dunha mestura líquida serve igualmente para darnos indicios sobre a súa composición. É por iso que os hipsómetros, rebautizados como picnómetros, tamén teñen un amplo percorrido nas plantas de produción de viños e outras bebidas alcohólicas, para determinar o porcentaxe de alcohol.

OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

+ INFO

ANTEOLLOS

Por definición, todos os anteollos son telescopios, pero non todos os telescopios son anteollos. Só os telescopios refractores, é dicir, os que montan lentes na súa óptica; en contraposición cos reflectores, que incorporan tamén espellos.

Estes son uns anteollos porque montan só (catro) lentes no seu tubo: unha no obxectivo, unha na parte intermedia e dúas no ocular; e precisamente estas son o máis destacado deste aparello, xa que se trata do sistema acromático inventado por John Dollond, fabricante tamén deste modelo.

En 1750, a óptica estaba inmersa nun debate entre as posturas enfrontadas de Isaac Newton e Leonhard Euler respecto á posibilidade ou imposibilidade de obter lentes que anulasen a aberración cromática —a aparición de franxas de cor ao redor da imaxe— nos telescopios combinando distintos tipos de lentes. Newton fora o primeiro en investigar esta posibilidade e chegara á conclusión de que non era posible. Pero en 1747, Euler suxeriu que si era factible.

Aínda que, como bo británico, Dollond se estableceu a favor de Newton, decidiu experimentar ao respecto probando diferentes combinacións de lentes. Unha decisión que finalmente o levaría á invención da lente acromática para uso en telescopios. Esta combinaba unha lente cóncava fabricada con vidro Flint e outra convexa de vidro Crown que se contrarrestaban entre si, co que se conseguía eliminar a aberración cromática. Uns resultados que publicaba en 1758, ao tempo que patentaba a súa nova lente acromática —garantindo así a exclusividade da súa fabricación.

A partir dese momento, os telescopios e anteollos Dollond, os únicos que montaban a súa lente acromática, pasaron a ser os máis demandados e famosos: de Federico o Grande a Thomas Jefferson, todos querían o seu. E na súa expedición para observar o tránsito de Venus no Pacífico, o Capitán Cook levou a bordo un Dollond, ademais dun telescopio reflector Short. De feito, durante a segunda metade do s. XVIII e parte do s. XIX, o termo “Dollond” popularizouse como sinónimo de telescopio.

TELESCOPIO

James Short

1755-1765

MUNCYT. CE1985/004/0165

Os anteollos ou telescopios de refracción probablemente foron inventados polo fabricante de lentes e anteollos neerlandés Hans Lippershey arredor de 1600. Non obstante, os telescopios reflectores, é dicir, aqueles que incorporan espellos como parte da súa óptica, non foron inventados ata 1672 por obra de Isaac Newton, cando reemprazou as lentes habituais por espellos cóncavos no interior do tubo. Os espellos permitían enfocar mellor e evitaban a formación de aberracións. Ademais, melloraba a capacidade de aumento, xa que é máis fácil fabricar un espello cóncavo grande que unha lente equivalente.

Este telescopio portátil é herdeiro do orixinal newtoniano. E como tal incorpora dous espellos ademais de dúas lentes no tubo: na cara máis próxima ao ocular dispónse un espello cóncavo cun orificio central e na oposta outro, de menor diámetro. Ao destapar o obxectivo entra a luz que se cola polo espazo entre o tubo e o espello ata alcanzar o espello do fondo, que reflicte os raios concentrados ao espello menor, que á súa vez os reenvía aínda máis concentrados e, a través do orificio do primeiro espello, á lente do ocular. Para levar a cabo o enfoque empregase a varela da parte inferior do tubo, que move mediante un parafuso o soporte do espello pequeno.

Tal e como consigna a inscrición gravada na zona do ocular “JAMES SHORT LONDON 84/641 =18”, este instrumento foi construído polo escocés James Short, un dos fabricantes de instrumentos ópticos máis reputados do seu tempo. O prestixio e perfección dos seus telescopios demóstrase en que fosen os elixidos para viaxar a bordo do *HMS Endeavour*, comandado por James Cook, para a observación do Tránsito de Venus desde Tahití en 1769.

A inscrición tamén especifica que se trata dun telescopio cunha distancia focal de 18 polgadas. De feito, o instrumento número 84 construído con esa característica do total de 641 que levaba fabricados ata a data; e que finalmente ascendería a 1360 ao longo da súa traxectoria.

OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

+ INFO

CRONÓMETRO MARIÑO

Ferdinand Berthoud

1787

MUSEO NAVAL DE MADRID. MNM1332

Entre os séculos XVI e XVIII, a consecución dun sistema efectivo para a determinación da lonxitude en alta mar converteuse no gran reto e obxectivo das potenciais navais europeas. Sobre o papel tratábase dunha cuestión arbitraria: sabendo que entre dous meridianos consecutivos hai unha hora de diferenza e que estes distan 15°, bastaría con comparar a hora local (na nave) coa do meridiano de referencia para calcular a lonxitude. Para entón, xa existían reloxos de péndulo suficientemente precisos. O problema era que se desaxustaban debido ao continuo, irregular e moitas veces acusado movemento do barco e aos cambios nas condicións meteorolóxicas, o que imposibilitaba coñecer a hora de referencia.

A solución non se acadou ata 1759, cando tras anos de arduo traballo o reloxeiro británico John Harrison fabricou o seu cronómetro H4, capaz de manter a hora a bordo cun desfase asumible de 3 segundos ao día. Isto grazas a que incorporaba como elemento regulador un volante de inercia controlado por un resorte de torsión, que se vía moito menos afectado polo vaivén e polas cambiantes condicións que os pesos e péndulos que marcaban o ritmo dos reloxos de ídem.

O H4, unha marabilla do tamaño dun voluminoso reloxo de peto, foi presentado na Royal Society en 1760. Unha delegación de reloxeiros franceses desprazouse a Londres para estudalo. Entre eles figuraba Ferdinand Berthoud, quen en 1775 fabricaría o primeiro cronómetro mariño da mariña francesa. Berthoud só construíu 21 cronómetros. Entre eles, os 8 exemplares encargados pola Mariña Española e entregados entre 1775 e 1776. Un deles é o que se exhibe nesta exposición.

Foi a partir da segunda metade do s. XVIII cando se iniciou a produción en masa de cronómetros mariños. Se en 1760 só había 4 exemplares no mundo (o H4 era o cuarto prototipo de Harrison e o primeiro verdadeiramente operativo), en 1815 existían xa máis de 5000 e a práctica totalidade dos barcos oceánicos levaban polo menos un.

ESTOXO DE XEÓLOGO

Cara a 1850

MUNCYT. CE1985/004/0213

Os laboratorios portátiles atopan a súa orixe a cabalo entre os s. XVII e XVIII, da man das grandes expedicións científicas de exploración e descubrimento e do crecente interese por medir, clasificar e analizar o mundo e os fenómenos naturais.

Estas grandes expedicións de descubrimento podían prolongarse varios anos, polo que os naturalistas e científicos que participaban sentiron a necesidade de levar consigo todos os instrumentos necesarios; tal como fixo Humboldt. E non só iso, senón tamén de equiparse cun mínimo laboratorio portátil —en forma de maletín, estoxo ou similar— que puidesen levar sempre enriba co básico para a toma de medidas e análise.

Probablemente un dos pioneiros do seu emprego foi Lavoisier, quen en 1767 efectuou unha viaxe de catro meses a cabalo polos Vosgos co propósito de clasificar minerais para o “Atlas de Mineraloxía” que preparaba con Jan Guettard, para o cal se equipou cun pequeno laboratorio con termómetros, un barómetro, un areómetro e diversos reactivos.

O emprego destes laboratorios portátiles (e a súa denominación) estendeuse e xeneralizouse entre os científicos durante o s. XVIII, estandarizados como estoxos ou maletíns con reactivos básicos e pequenos aparellos. Johann Friedrich Göttling, profesor de química da Universidade de Jena, deseñou varios modelos cuxa venda lle permitía complementar o seu salario e que resultaron moi exitosos. É, por tanto, bastante factible que fose un dos modelos do seu compatriota o que levou Humboldt consigo para a súa expedición. Máis aínda tendo en conta que xa debía estar familiarizado con eles, dado que Humboldt comezou a súa carreira como inspector de minas do Goberno de Prusia.

O estoxo de xeólogo que forma parte da exposición é un exemplo perfecto deste tipo de laboratorios portátiles, que permitían levar unha considerable cantidade de material en pouco espazo. Así, están presentes limas, martelos, un areómetro de Nicholson para calcular densidades ou gravidades específicas; e un soprete de boca para analizar mostras de minerais e identificar os elementos que os compoñen por comparación coas mostras patrón contidas nos recipientes de vidro.

OS INSTRUMENTOS DE HUMBOLDT. FERRAMENTAS PARA CONCIBIR UNHA NOVA VISIÓN DA NATUREZA.

+ INFO

CIANÓMETRO

Sen dúbida, o cianómetro é un dos instrumentos científicos máis poéticos —se non o que máis—; non en balde serve para medir o grao ou intensidade de azul do ceo. Unha cuestión que obsesionaba ao seu inventor, o meteorólogo suízo Saussure; a quen o seu cuñado, o botánico Charles Bonnet, inculcou a paixón pola natureza desde novo. De feito, a súa fixación non se circunscibía ao azul celeste, senón que abarcaba todo o medible na natureza. E se non había maneira de facelo, inventaba un novo instrumento para acadar o seu propósito. Así, ademais do higrómetro de cabelo que leva o seu nome, inventou un magnetómetro, un anemómetro, un heliómetro para medir o quentamento da atmosfera pola acción directa do sol; e outro instrumento directamente emparentado co cianómetro: o diafanómetro, que medía o grao de transparencia do ceo. De feito, tan emparentados están que inventou ambos de maneira simultánea, en 1789.

O cianómetro parte dun deseño tan efectivo como sinxelo: un anel dividido en 52 segmentos numerados, cada un deles tinguido —cunha suspensión do pigmento azul de Prusia— dun ton de azul distinto, que ía desde o branco ata o negro. Así, para medir o grao de azul do ceo bastaba con mirar ao cénit a unha distancia concreta do ollo a través do anel e buscar o ton de azul que coincidise co celeste.

Por que era tan importante determinar o azul celeste aos ollos de Saussure? Porque chegou á conclusión de que dependía do contido de humidade atmosférica. A explicación definitiva da cor do ceo sería ofrecida finalmente por Lord Rayleigh un século máis tarde, como resultado da difracción da luz polas moléculas e partículas atmosféricas... incluídas as minúsculas gotiñas de auga en suspensión que lle confiren a súa humidade.

Posiblemente o persoeiro que máis popularizou o cianómetro foi Humboldt —tan prusiano como o pigmento—, ó convertilo nun dos seus instrumentos de cabeceira. Froito diso, durante a súa ascensión ao Chimborazo, mediu un ceo de 46 graos de azul, o máis intenso rexistrado.

NATURGEMÄLDE

É posible que a moitos lles resulte sorprendente e ata chocante a inclusión do *Naturgemälde* nesta sección. Non debería: o *Naturgemälde*, máis alá dunha ilustración fermosa e detalladamente traballada, é, por riba de todo, un instrumento científico. Ou, se se prefire, e tal como se refire no subtítulo da exposición, unha ferramenta de gran valor e aplicación para os naturalistas e científicos desde comezos do s. XIX, ao presentar de forma clara unha gran cantidade de información dun xeito totalmente novo, toda nun mesmo “plano”. E con iso permitía procesala e interpretala tamén dunha maneira innovadora, que facía moito máis fácil e evidente identificar as relacións entre uns e outros factores e as consecuencias nas que se manifesta esta interdependencia; como se interrelacionan e se condicionan entre si e o seu efecto conxunto.

Máis aínda, ao contrario do que sucede con algúns dos instrumentos expostos, o *Naturgemälde* non pode ser considerado un instrumento antigo ou do pasado, no sentido de ter caído en desuso, substituído por outros aparellos máis modernos e evolucionados. Ao contrario, segue a ser unha ferramenta plenamente vixente para os científicos: no ano 2015 publicouse un estudo que analizaba o efecto do cambio climático e o consecuente quentamento global, exemplificado co cambio na vexetación do Chimborazo nos dous últimos séculos. E facíase comparando os pisos vexetais e condicións plasmados por Humboldt no *Naturgemälde* orixinal cunha representación análoga coas condicións do 2012.

O estudo demostra o valor e utilidade destas “pinturas da natureza” como instrumento científico, xa que, dunha soa ollada, a comparación entre ambas ilustracións permite observar as consecuencias do cambio climático.

Un apunte final: pode dicirse que as representacións da natureza concibidas por Humboldt son tamén as precursoras das actuais e modernas infografías, entendidas como unha representación visual de información sintetizada mediante o uso de gráficos e imaxes. Algo especialmente útil para transmitir ideas ou conceptos, xa que visualizalas facilita a comprensión rápida. Unha proba máis da súa aplicación e da súa vixencia.