

alquimia del color

iluminando nanomundos

Jean-Marc Chomaz y Olga Flór - 23 de marzo de 2023

• nanociencia • nanopartículas • litografía • escultura • color • alquimia • luz • fluidos • paisaje • oscilación • materia conductual

Alquimia del color: iluminando nanomundos es un proyecto de investigación y creación que pretende cuestionar las certezas de nuestra percepción, presentando objetos de oro y plata esculpidos a nanoescala, invisibles a todos los procesos ópticos. El resultado son dos obras complementarias: *A Thousand Shades of Green, an Attempt - nanolithographies*, un nanograbado en un disco de vidrio, y *Alchimie de la lumière - nanosculptures*.

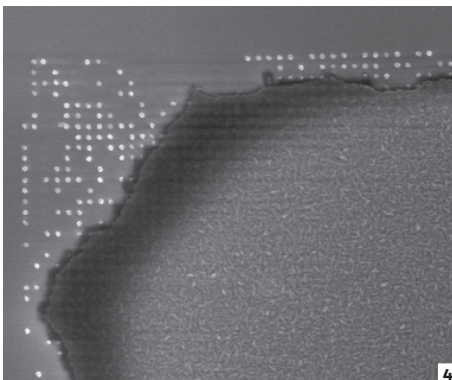
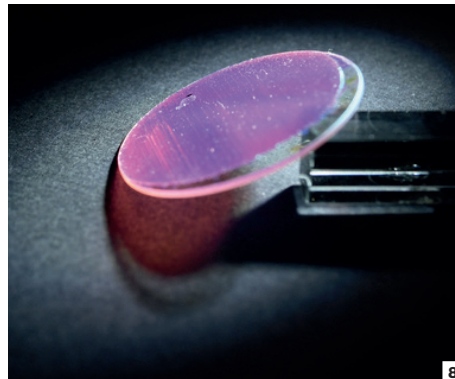
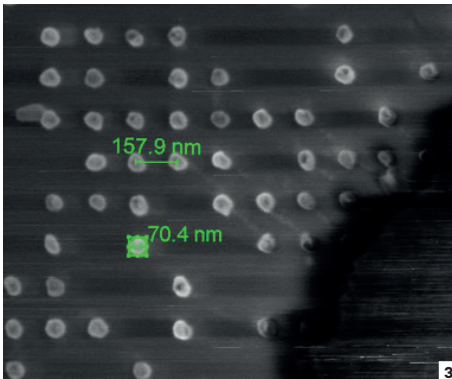
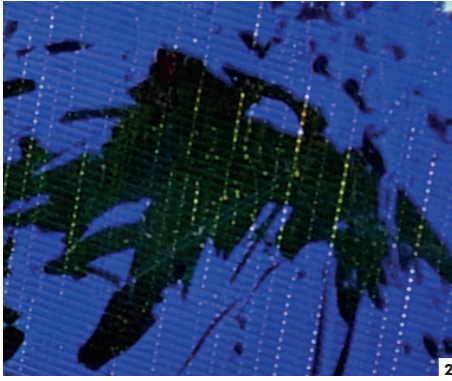
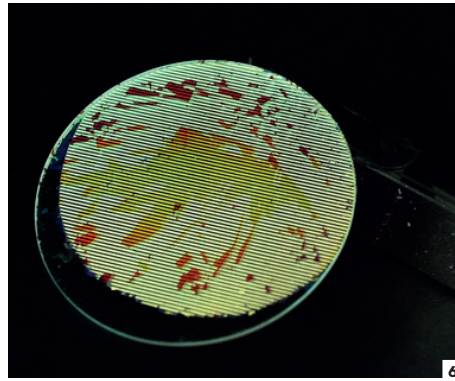
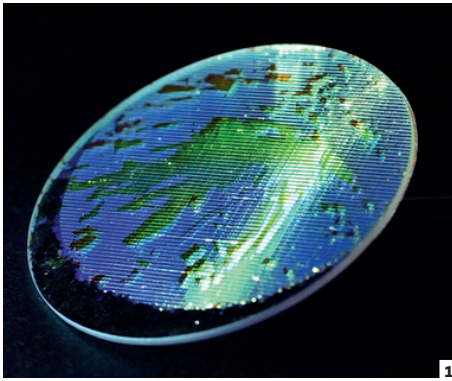
Aplicar color es un gesto artístico, un uso sensible de la luz asociado a la percepción visual humana. Sin embargo, la coloración también es un proceso fisicoquímico asociado a la interacción entre los fotones y la materia molecular de los pigmentos y las tintas. Los colores de las nanopartículas son consecuencia de otra interacción entre la luz y la materia. Más pequeñas que los fotones que las impactan, las nanoesculturas metálicas se electrifican y desvían la trayectoria del arco iris. Aquí, el color ya no es una propiedad molecular de la absorción de la luz por pigmentos o tintes, sino una resonancia que hace que la forma sea tangible. Esta resonancia fotónica de la luz con texturas a nanoescala forma parte de la familia de la coloración estructural. Se diferencia de este último por las interferencias que se producen cuando el objeto es más grande, una fracción de micra de tamaño, aproximadamente la mitad de la longitud de onda del fotón. Los pigmentos clásicos absorben la luz, al igual que las plantas: parecen verdes porque la clorofila absorbe el azul y el rojo del espectro visible.

Uno de los antiguos objetivos de la alquimia era transmutar la materia: el plomo en oro y el cobre en plata. En este proyecto, las esculturas a nanoescala que interfieren con la luz están hechas de oro y plata, y la alquimia se refiere en este caso a la transmutación de los fotones en plasmones. En una inversión de papeles, objetos invisibles de oro y plata realizan, ante el espectador, la transformación alquímica de la luz, produciendo nuevos colores, como si la luz y los colores fueran materia.

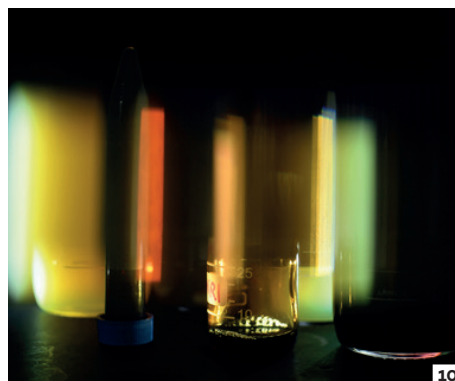
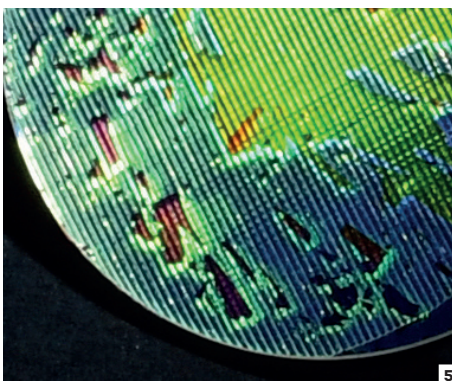
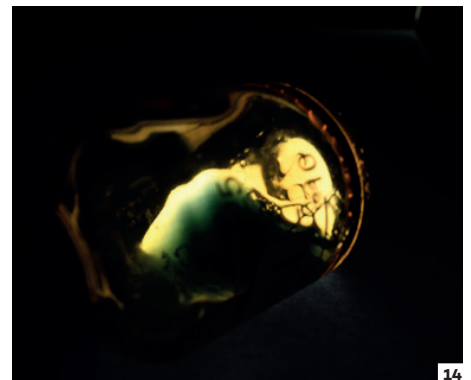
A Thousand Shades of Green, an Attempt es una prueba de nanograbado realizada mediante litografía eléctrica en la que se emplean millones de cilindros de oro, cuyos diámetros aumentan de 50 a 100 nanómetros, sobre un disco de cristal de 2 centímetros cuadrados. Durante el proceso, algunas partes de la capa metálica depositada a través de la máscara litográfica -demasiado grande para las tecnologías actuales (limitadas a 1 milímetro cuadrado)- se arrancan al despegar la máscara. Entonces, las zonas dañadas revelan un mundo de iridiscencias, en verde, naranja y azul.

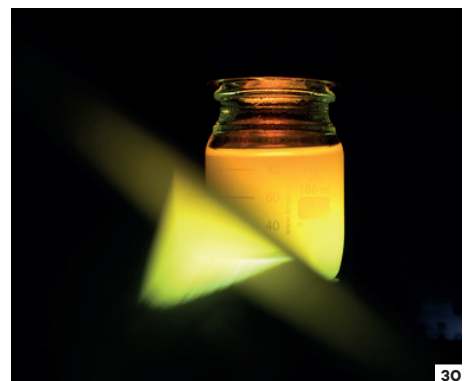
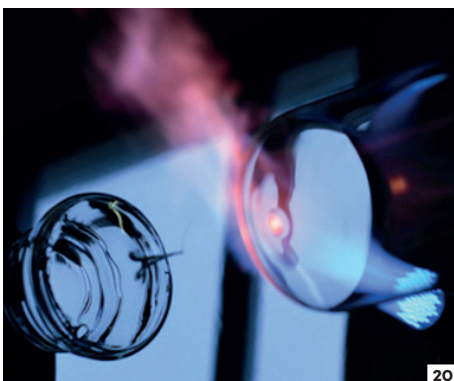
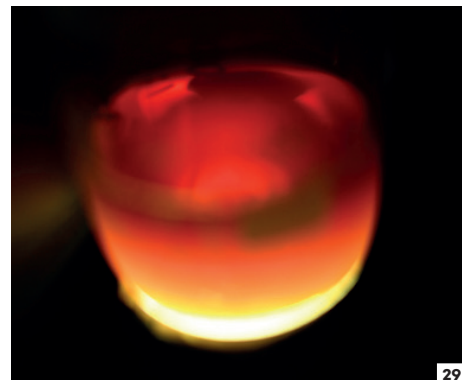
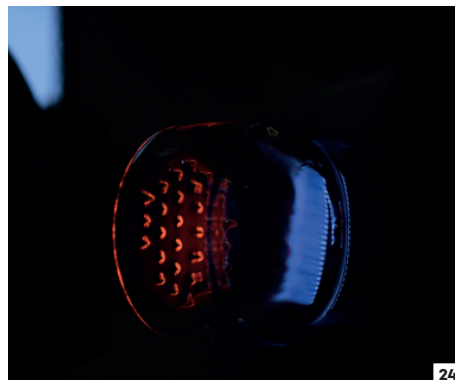
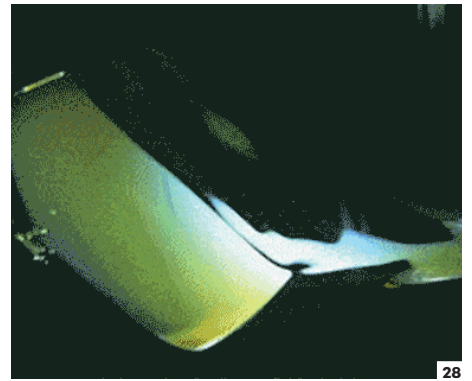
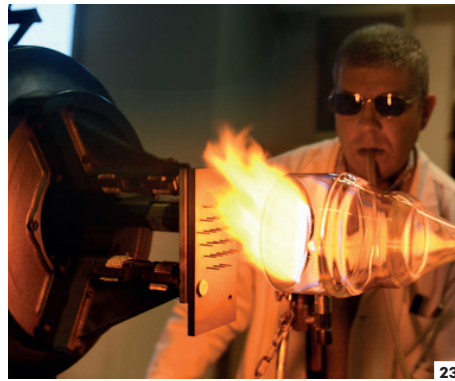
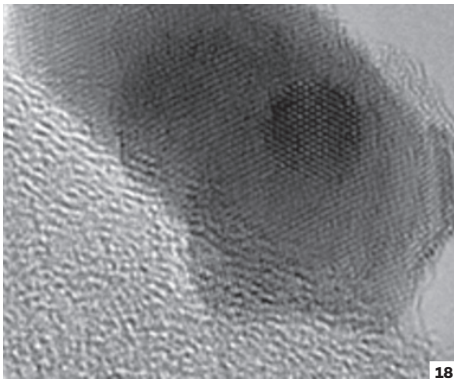
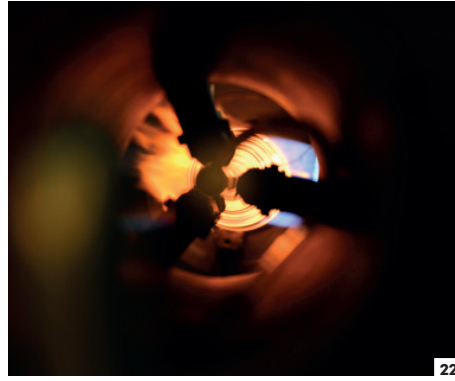
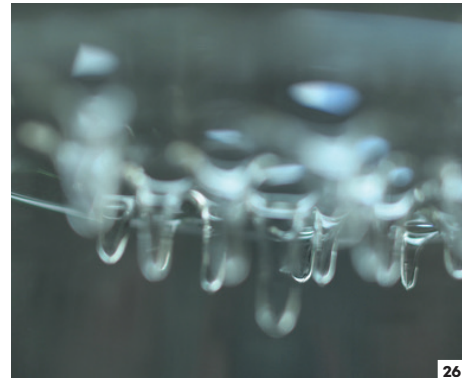
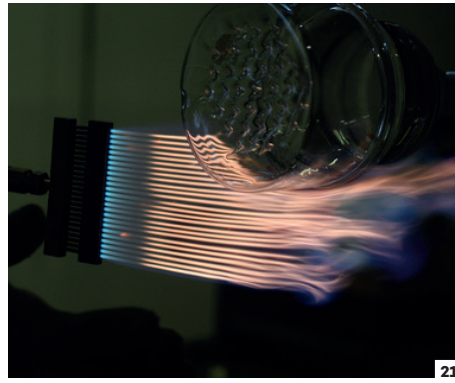
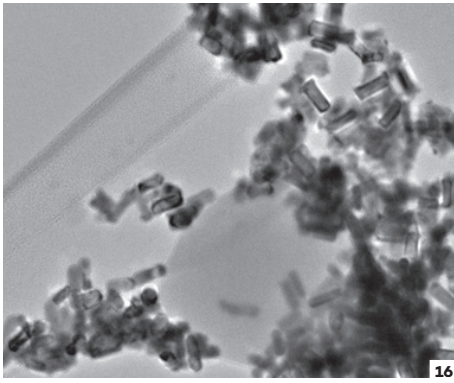
Las dos obras, *Alchimie de la lumière - nanosculptures*, se asemejan a gabinetes de curiosidades. Fueron creadas para la exposición *OU\|ERT* en Bourges (2019) y Bourges contemporain en 2021. Las formas de cristal, aisladas o creando un paisaje, cambian de color según las transformaciones de la escena luminosa. Las formas sopladadas contienen nanopartículas metálicas, producidas por un ensamblaje químico, que emiten mil nuevas tonalidades de verde, según el ángulo desde el que las miremos. De este modo, la solución acuosa de nanopartículas aparece verde cuando está expuesta a la luz directa, y naranja o azul en transparencia.

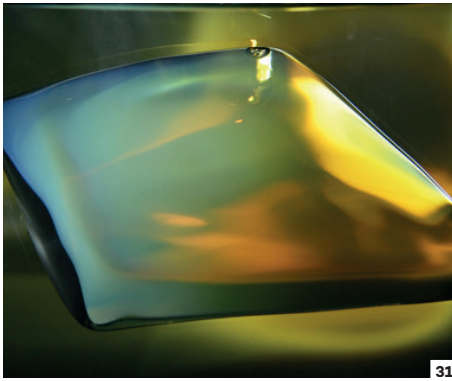
Así, las dos instalaciones constituyen una forma moderna de *vanitas*. En la pintura clásica, los bienes terrenales, el dinero, los instrumentos científicos o los símbolos del conocimiento se representaban esparcidos o rotos por el suelo, aludiendo a que todo ello era vano con respecto a una realidad superior e inaccesible, una trascendencia. Aquí, el nanograbado del disco se rompe y las perfectas nanoesferas de plata y oro son invisibles y únicamente se revelan cuando la luz se transforma en los múltiples matices producidos: la dimensión sensible se apodera del control sensible.



Pour 100 mL de solution:
→ 2,35 g de CTAB on chauffe
41 mg de TOAS.
8 mL de $KAuCl_4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2}$
on chauffe pdt 1h.
après ces 1 heure de chauff
ajoute 1,65 ml de cyclohex
2,15 ml d'acetone.
15' à agiter sans chauff



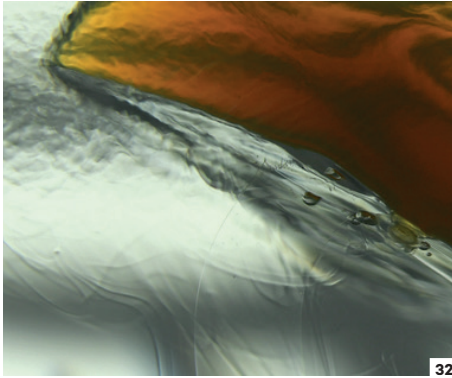




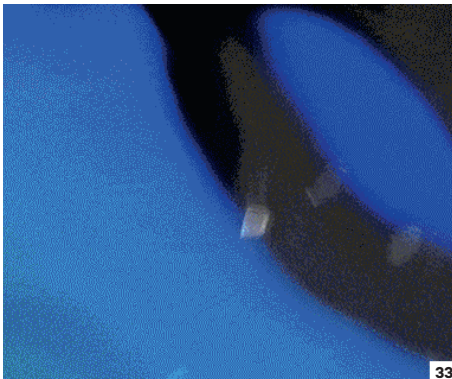
31



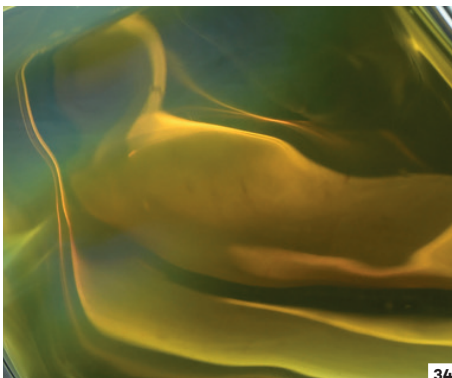
36



32



33



34



35

pies de foto

1. Reproducción de todos los tonos de verde de una pluma de pavo real. El científico inglés Robert Hooke, que en 1665 se quedó asombrado al ver que las plumas mojadas se volvían grises, calificó los colores de «fanstasmáticos».

2. «En el centro, la forma de un corazón negro brillante está rodeada por un color verde cambiante que, desde ciertas perspectivas, parece ser un bello púrpura o un azul brillante». Traducido a partir de la entrada de «Peacock», Daubenton, Venel y Jaucourt, en *L'Encyclopédie*, 1765.

3. Estos colores iridiscentes surgen de la dispersión de la luz a través de la textura de una pluma a una escala de 1:10 de micra (100 nanómetros). Hemos intentado recrear el patrón grabando una capa de oro en una moneda de cristal.

4. El proyecto es aparentemente inviable: la mejor máquina del mundo es capaz de grabar 100 millones de nanocilindros de oro en una superficie de 1 mm²; nosotros querríamos 2 cm². A pesar de ello, un laboratorio de Turín aceptó el reto y realizó dos intentos de grabado con un haz de electrones.

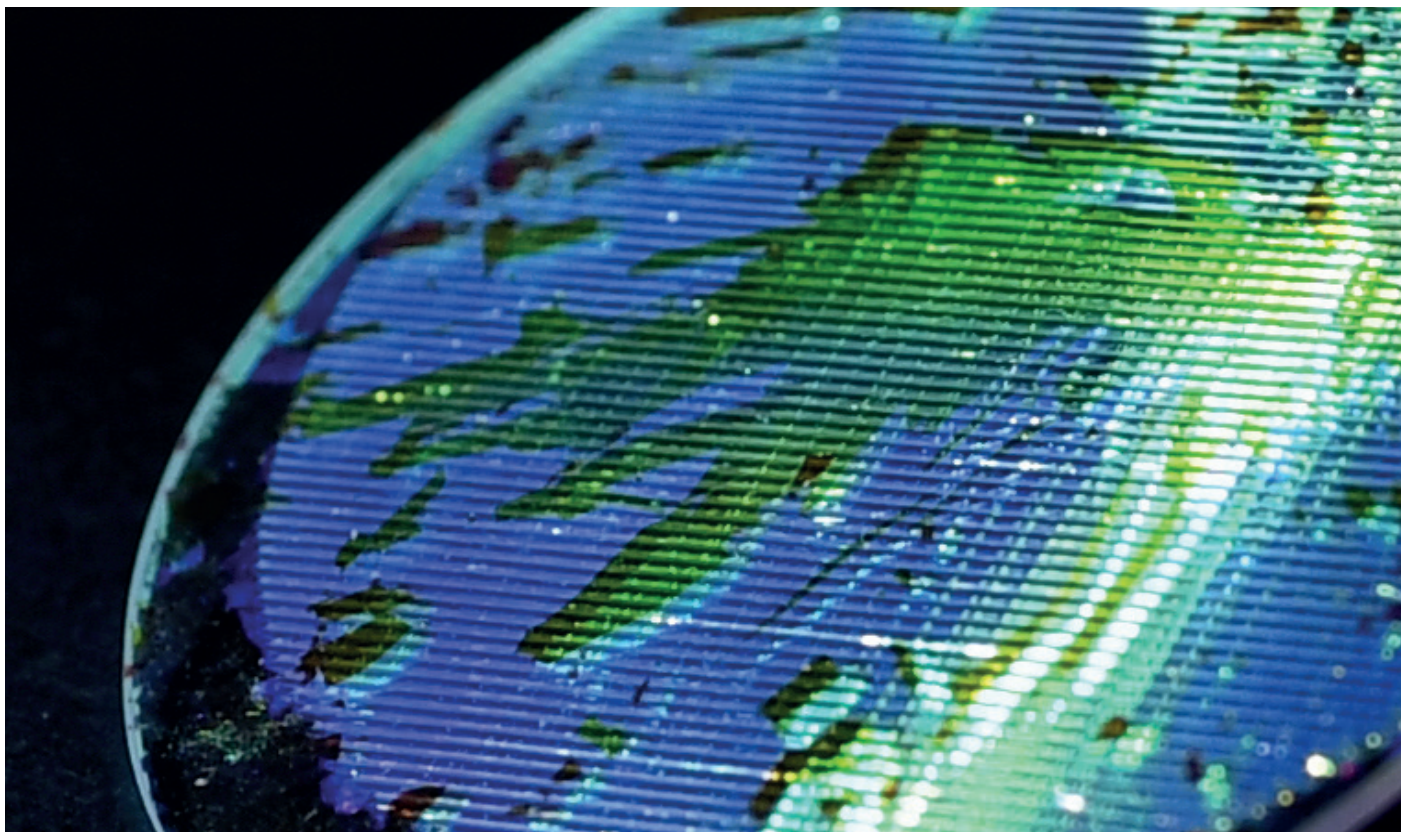
5. Una fina película de silicona se deposita sobre el vidrio y luego se graba con el haz de electrones. El oro vaporizado se coloca en el grabado. Al retirar la película, que debe hacerse con las manos, se elimina una parte del grabado.

6. Pedir lo imposible ha forzado a la tecnología a ir más allá, provocando la aparición de lágrimas de colores iridiscentes.

7. Hasta la fecha, las nanolitografías más grandes medían como máximo un milímetro. A raíz del fracaso en el intento de romper la separación de escalas grabando un objeto macroscópico a escala nanométrica ha producido, en cambio, un nanomundo iridiscente que, con la ayuda de nuestros dedos, interactúa con la luz.

8. Sin embargo, las aves no graban las nanotexturas de sus plumas, sino que el proceso lento de la evolución les ha enseñado a dejar que se produzca la cinética química y, por tanto, las inestabilidades resultantes crean dinámicamente estas nanoformas.

- 9.** Los sistemas químicos y físicos desequilibrados generan una infinidad de formas complejas, galaxias, paisajes, ADN, entre otros elementos. Para recrearlos en un laboratorio, hay que inventar recetas de alquimia.
- 10.** Investigadores del laboratorio de química física escriben en un cuaderno sus recetas alquímicas para crear nanoesculturas a partir de oro. Según su forma, un plasma rojo, azul o verde alumbró su superficie una vez iluminados.
- 11.** La mezcla y la reducción de las sales de oro y el reactivo químico hacen que la cinética química cree diferentes formas.
- 12.** Una transmutación es provocada por la radiólisis, una exposición a una intensa radiación de la fuente gamma ionizante procedente del laboratorio, que está protegida en un búnker bajo metros de tierra y hormigón, sobre el que crece un entorno natural exuberante.
- 13.** El acceso al búnker está restringido al personal autorizado que lleve un dosímetro para controlar sus niveles de radiación. Como se anota en el cuaderno, el vial que contiene las sales de oro se tiene que colocar a una distancia exacta de la fuente para recibir la radiación.
- 14.** La radiación reduce lentamente las sales y el oro puro se condensa en nanotiras cuyo tamaño aumenta con el tiempo de exposición y determina el color. Para el verde, la duración de la irradiación es de ocho horas.
- 15.** Estas nanoesculturas son más pequeñas que la luz visible (longitud de onda de 0,4 a 0,7 micras). Su forma solo puede verse con un microscopio electrónico. Para ello, una pequeña gota de la solución de nanopartículas se dejó caer sobre una minúscula rejilla y, a continuación, se introduce en la unidad.
- 16.** La primera imagen realizada por los investigadores del CEMES de Toulouse muestra la nanoobra de arte, una maraña de tiras de oro idénticas de 50 nanómetros de longitud.
- 17.** El haz de electrones es absorbido por las nanopartículas. La sombra proyectada se distorsiona debido a los intensos campos electromagnéticos (como en los antiguos televisores de tubo catódico) y aparece en la pantalla del operador.
- 18.** Enfocando la imagen, se perciben incluso las sombras de la estructura atómica: granos de 0,1 nanómetros en una tira de oro de 50 nanómetros.
- 19.** ¿Cómo podemos mostrar esculturas que son más pequeñas que el tamaño de la luz? Estos nanoobjetos de oro solo revelan su forma a través de los cambios de color que fascinaban a Hooke.
- 20.** Las plumas de las aves y las alas de las mariposas son los depósitos naturales de esas nanotexturas, que les confieren su particular color e iridiscencia.
- 21.** El énfasis en estas nanoesculturas alquímicas realizadas por las investigadoras para este proyecto está en el color y su flujo. El contenedor debe desaparecer de la visión, dejando ver solo el color.
- 22.** En lugar de estabilizar e integrar las nanopartículas en una composición de vidrio (como hicieron los artesanos romanos al crear la Copa de Licurgo, una técnica hoy desaparecida), aquí se aprovecha la transparencia del vidrio para observar una fusión constante con la luz.
- 23.** Jean-Michel Wierniezy, soplador de vidrio de la École Polytechnique, realiza un primer prototipo deformando un disco de vidrio fundido con una placa de carbono erizada con 35 púas de acero.
- 24.** Se crea así una matriz de 35 cavidades de 2 centímetros de profundidad, cada una de las cuales puede recibir una solución de nanoescultura diferente.
- 25.** Este disco se colocará en un gran cilindro de cristal creado específicamente para esta obra.
- 26.** El cilindro se rellena con glicerol, el cual tiene el mismo índice óptico que el vidrio. De este modo, las interfaces de las cavidades se hacen invisibles, lo que significa que solo se percibe la luz que se combina con las nanopartículas en la solución.
- 27.** Elegimos nanoesculturas que refractan principalmente el verde. El color cambia según el tamaño de la cavidad y la luz: del amarillo al azul, del rojo al morado. Sorprendentemente, estos tonos también evolucionan con el tiempo, como si estos nanoobjetos estuvieran vivos.
- 28.** Se realizó un segundo prototipo más grande para experimentar y mostrar la lenta evolución de las soluciones de nanopartículas.
- 29.** Con la perspectiva de crear un móvil, se fabrican múltiples formas de vidrio y se rellenan con soluciones que contienen diferentes pilas de nanotriángulos de oro y plata, produciendo tintes dicroicos de verde y naranja.
- 30.** Las nanopartículas de oro y plata se crean en un laboratorio de química física mediante una reacción de reducción rápida y sorprendentemente oscilante. El color de estas soluciones depende del tamaño de la pila de triángulos que contiene: en el caso de las nanoesculturas verdes, miden 50 nanómetros.
- 31.** La sedimentación de las nanopartículas se produce cuando el líquido está en reposo. La estructura que se forma refleja el equilibrio entre la gravedad y el movimiento browniano. Las variaciones de esta concentración dan lugar a un sinfín de combinaciones de colores vibrantes.
- 32.** Cuando las nanopartículas se extienden homogéneamente, el color dominante es el naranja.
- 33.** El objeto de vidrio que contiene las nanopartículas se comporta como un cristal. Los plasmones, plasmas coherentes formados por la luz y que se encuentran en la superficie de las nanoesculturas, se dispersan según el ángulo de la luz, lo que se traduce en un cambio de color.
- 34.** La más mínima alteración del estado de quietud del objeto rompe el delicado equilibrio.
- 35.** Sedimentación del color tras dos semanas de inmovilidad.
- 36.** Las nanopilas triangulares de oro y plata en movimiento son como un universo mineral en formación. Su interacción «fantástica» con la luz produce la alquimia del color.



Esta contribución ha sido publicada en
www.able-journal.org según el formato story.able:

www.able-journal.org/es/alquimia-del-color

Las imágenes se muestran en línea en una cuadrícula.
Debajo de cada imagen puede añadirse un texto opcional.

créditos

autores/as:

Olga Flór, diseñadora artística

Jean-Marc Chomaz, físico artista, Laboratorio de Hidrodinámica, CNRS-École Polytechnique, Palaiseau, Francia

en colaboración con: Giancarlo Rizza, físico e investigador de la Comisión de Energías Alternativas y Energía Atómica (CEA) de Francia; Vincenzo Giannini, investigador del Instituto de Estructura de la Materia de Madrid (España); y los investigadores del Departamento de Ciencia y Tecnología Aplicadas del Politécnico de Turín (Italia). Sébastien Joulie y Caroline Bonafos, Centro de Elaboración de Materiales y Estudios Estructurales, Toulouse, Francia; Jean-Michel Wierniezky, soplador de vidrio, École Polytechnique, Palaiseau, Francia; Hynd Remita, Mireille Benoit y Anaïs Lehoux, investigadoras en química física del Laboratorio de Química Física, CNRS-Universidad París-Sur, Orsay, Francia

mediación editorial: Julie Sauret

diseño gráfico: Olga Flór

sobre los/as autores/as

Jean-Marc Chomaz (PhD) es artista-físico, profesor en la École Polytechnique, director de investigación en el CNRS, cofundador del colectivo LABOFACTORY y codirector de la Chaire Arts et Sciences. Implicado en proyectos de arte y ciencia, sus obras presentan una dimensión humana y sensible de la física, que admite transgresiones, metáforas, malas interpretaciones y alusiones.

<https://chaire-arts-sciences.org/>

<https://ladhyx.polytechnique.fr/fr/>

<http://off-ladhyx.polytechnique.fr/people/jmarc/>

Olga Flór es una artista y diseñadora que vive y trabaja en Eindhoven. En 2020 se graduó en la Academia de Diseño de Eindhoven. Se interesa por la estrecha relación que mantienen las personas con las cosas, el espacio y el tiempo. Compone y diseña con el color, la luz y el sonido, así como con diversos materiales que expresan su singular percepción de los elementos a diferentes escalas.

<https://olganisation.com/>

referencias y derechos

referencias y derechos de imagen

Jean-Marc Chomaz y Olga Flór. 2020. *Alquimia del color: iluminando nanomundos*. Derechos de autor 2021 de los autores. Reproducido con autorización. Foto: Olga Flór.

bibliografía y referencias

Chen, Yifang. 2015. «Nanofabrication by electron beam lithography and its applications: A review». *Microelectronic Engineering* 135: p. 57-72.

Colomban, Philippe. 2015. «Nanoparticules et couleur, une tradition millénaire». *Photoniques*, p. 37-41.

Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers. 1765. Editado por Denis Diderot y Jean d'Alembert. Vol. 12. París (primera edición): «Perroquet rouge et vert,» 398; «Perroquet vert commun,» 399; «Petit perroquet vert,» 399; de Jaucourt, Louis. «Perroquet vert varié,» 399; de Jaucourt, Louis. «Perroquet tapissé,» 400; de Jaucourt, Louis. «Plumes des oiseaux,» 800.

Gangnaik, Anushka, Yordan Georgiev y Justin Holmes. 2017. «New Generation Electron Beam Resists: A Review». *Chemistry of Materials* 29, n.º 5: p. 1898-1917.

Hooke, Robert. 1665. *Micrographia: or, Some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses*. Londres: Martyn and J. Allestry.

Kolle, Mathias. 2014. «Photonic Structures Inspired by Nature,» Tesis Doctoral. <https://doi.org/10.17863/CAM.16723>

Kinoshita, Shôichi. 2008. *Structural Colors in the Realm of Nature*. Singapur: World Scientific Publishing Co.

Mouchet, Sebastien y and Olivier Deparis. 2021. *Natural Photonics and Bioinspiration*. Boston, MA: Artech House.

Pluchery, Olivier, Hynd Remita y Delphine Schaming. 2013. «Demonstrative experiments about gold nanoparticles and nanofilms: an introduction to nanoscience». *Gold Bulletin* 46, p. 319-327.

Ruste, Jacky. 2013. «Microscopie électronique à balayage - Principe et équipement». *Techniques de l'ingénieur* (10 de marzo): <https://doi.org/10.51257/a-v3-p865>

Schaming, Delphine, Olivier Pluchery y Hynd Remita. 2014. «La ruée vers le nano-or». *Pour la Science*, n.º 444: p. 32-38.

Schaming, Delphine y Hynd Remita. 2015. «Nanotechnology: from the ancient time to nowadays». *Foundations of Chemistry* 17: p. 187-205.

Sun Cheng, Erich Müller, Matthias Meffert y Dagmar Gerthsen. 2018. «On the Progress of Scanning Transmission Electron Microscopy (STEM) Imaging in a Scanning Electron Microscope». *Microscopy and Microanalysis* 24, n.º 2: p. 99-106.

Venel, Gabriel François y Louis de Jaucourt. 1765. «Paon - Paon du Tibet». En *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*. Editado por Denis Diderot y Jean d'Alembert. Vol. 11, p. 830-833. París (primera edición).

Bergström, Ingvar. 2014. «Les trois catégories de vanités en peinture». *vanitesamsterdam*. <https://vanitesamsterdam.wordpress.com/2014/04/08/les-trois-categories-de-vanites-en-peinture/>

para citar este artículo

Chomaz, Jean-Marc y Olga Flór. 2023. «Alquimia del color: iluminando nanomundos». *Revista .able*: <https://able-journal.org/es/alquimia-del-color>

MLA ES Chomaz, Jean-Marc, y Olga Flór. «Alquimia del color: iluminando nanomundos». *Revista .able*, 2023. <https://able-journal.org/es/alquimia-del-color>

ISO 690 ES CHOMAZ, Jean-Marc; FLÓR, Olga. «Alquimia del color: iluminando nanomundos». *Revista .able* [en línea]. 2023. Disponible en: <https://able-journal.org/es/alquimia-del-color>

APA ES Chomaz, J.-M., y Flór, O. (2023). Alquimia del color: iluminando nanomundos. *Revista .able*. <https://able-journal.org/es/alquimia-del-color>