



Materiales Avanzados

Número 31

Año 2019

Pasado, presente y futuro de las celdas solares de Perovskita

Denisse Barreiro-Argüelles y Diego Solis-Ibarra

Tecnología renovable: su ubicación en tiempo real

Marisol González Garnica, A. Galdámez, G. Santana y A. Dutt

Sustratos plasmónicos nanoestructurados de aluminio y grafeno para su aplicación como sensores SERS

R. González-Campuzano y D. Mendoza

Un acercamiento a la Nanoescala

José Alberto Ruiz Gayosso y Yareli Rojas Aguirre

Reseña del libro: *No está en los genes*

L. Fernando Patlan Velázquez

Noticias: *Diamantes negros, cálculos cuánticos,
publicaciones multiautor y telururo de uranio*

Biografía: a quinientos años de la muerte de Leonardo da Vinci

Juan Carlos Yustis

Cuadros y plástica

Edgar Núñez Rojas

Material de apoyo a la docencia:

De alquimia, astronomía y el año internacional de La Tabla



Universidad Nacional Autónoma de México

Enrique Graue Wiechers
Rector

Leonardo Lomelí Vanegas
Secretario General

William Henry Lee Alardín
Coordinador de la Investigación Científica

Instituto de Investigaciones en Materiales

José Israel Betancourt Reyes
Director

Héctor Domínguez Castro
Secretario Académico

Estrella Ramos Peña
Editora responsable

Astron Rigel Martínez Rosas
Coordinador editorial y de divulgación

Comité Editorial:

Patricia Guadarrama Acosta
Diego Solís Ibarra
Ilich Argel Ibarra Alvarado
Larissa Alexandrova
Francisco Morales Leal
Ateet Dutt
Bertha O. Aguilar

Producción:

Editorial IIM
Editor científico: Estrella Ramos Peña
Editor digital: Alberto López Vivas
Cuadros y plástica: Edgar Núñez Rojas
Diseño editorial: Astron Rigel Martínez Rosas

La reproducción del material aquí mostrado se permite siempre y cuando:
se cite esta revista, se reconozca a los autores y no sea utilizado con fines comerciales.

Presentación

Presentamos el número 31 de la revista Materiales Avanzados.

Iniciamos con la reseña del libro *No está en los genes, racismo, genética e ideología* en el que se discute ampliamente aquel concepto avalado por la ciencia que afirma que los **genes son destino** que justificó durante la segunda mitad del siglo XX la aplicación de las leyes biológicas de la herencia al perfeccionamiento de la especie humana (eugenesia). La reseña está muy bien escrita y seguro despertará su interés en conceptos como el coeficiente intelectual, cuya creación intenta justificar el hecho de que no todos los individuos tengan acceso a la educación. Se discute aquí si tiene sentido hablar de cerebro masculino y femenino y, entre muchas otras cosas, se analiza cuánto influye el ambiente en el desarrollo de los seres humanos.

Continuamos con la sección de noticias, que esta vez toca el tema de diamantes negros, cálculos cuánticos, un ensayo sobre el quehacer científico *millenial* y superconductividad en campos magnéticos extremos. El personaje retratado en la biografía es Leonardo da Vinci, unos de los mayores genios que ha tenido la humanidad.

En la sección de artículos presentamos cuatro temas diferentes, un análisis del significado del término tecnología renovable, celdas solares basadas en perovskitas, sustratos de aluminio y grafeno para su aplicación como sensores SERS y un trabajo sobre el concepto de nanoescala.

El arte de este número es cortesía de Edgar Nuñez Rojas, uno más de los ejemplos de científicos artistas que tenemos a nuestro alcance. Me honra decir que es además, un apreciado y admirado amigo.

En la última parte de este número (Apoyo a la docencia) encontrarán una actividad que fue presentada en el evento de divulgación científica *Noche de las estrellas*, presentado en Morelia, Michoacán por la organización DIVU para el Instituto de Radioastronomía y Astrofísica (IRyA). Este material tiene como objetivo hacer divulgación científica y sensibilizar al lector en materia de derechos humanos y poblaciones vulneradas. Vale la pena echarle un ojo a esta actividad.

Esperamos que disfruten este número, les pedimos que lo compartan y, si así lo desean, pueden hacernos saber su opinión al email materialesavanzados@iim.unam.mx; nos dará mucho gusto saber qué opinan de nuestra revista.

Editorial

La revista Materiales Avanzados es una publicación semestral con sede en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM. Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida Universidad 3000, Ciudad Universitaria, Coyoacán, C.P. 04510, Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, México, Tel. 56 22 45 00. CDMX www.iim.unam.mx/revista, editor responsable: *Estrella Ramos* eramos@iim.unam.mx Reserva de derechos al uso exclusivo del título ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública 04-2003-041612533600-102. Certificado de licitud de título 12619, certificado de licitud de contenido 10191, expedidos por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. ISSN 1665-7071.

Índice

3 Presentación

6 Reseña del libro: *No está en los genes*

L. Fernando Patlan Velázquez

10 Noticias: Diamantes negros, cálculos cuánticos, publicaciones multiautor y telururo de uranio

14 Biografía: a quinientos años de la muerte de Leonardo da Vinci

Juan Carlos Yustis

26 Pasado, presente y futuro de las celdas solares de Perovskita

Denisse Barreiro-Argüelles y Diego Solis-Ibarra

32 Tecnología renovable: su ubicación en tiempo real

*Marisol González Garnica, A. Galdámez,
G. Santana y A. Dutt*

38 Sustratos plasmónicos nanoestructurados de aluminio y grafeno para su aplicación como sensores SERS

R. González-Campuzano y D. Mendoza

48 Un acercamiento a la Nanoescala

José Alberto Ruiz Gayosso y Yareli Rojas Aguirre

56 Cuadros y plástica

Edgar Núñez Rojas

58 Material de apoyo a la docencia:

De alquimia, astronomía y el año internacional de La Tabla



Reseña

No está en los GENES

Luis Fernando Patlan Velázquez

Asociación Civil DiVU: Diversidad, cultura, género,
alimentación y ciencia A.C. CLUNI: DDC17040509R4Q

colectivodivu@gmail.com

Para bien o para mal, una situación bastante recurrente cuando conocemos a alguna persona y le hablamos de que nos dedicamos al quehacer científico es que llegue a su mente la imagen del “científico loco”, aquel individuo caricaturesco que busca alcanzar algún interés personal mediante experimentos violentos y destructivos. Demoler este estereotipo una y otra vez no es fortuito, ya que históricamente la Ciencia ha sido utilizada para justificar a la violencia. Recordemos, por ejemplo, al médico nazi Josef Mengele, quien durante la Segunda Guerra Mundial inyectó cloroformo en los corazones de niños judíos para observar el efecto en sus cuerpos, por mencionar uno de sus experimentos más “amigables”. Si bien este es un ejemplo bastante extremo, no se trata de un caso aislado. El conocimiento puede ser (y ha sido) utilizado para avanzar *agendas conservadoras*.

Una eugenésica corriente, no muy lejana a la de Megele, fue promovida por varios científicos durante la segunda mitad del siglo XX: su primicia se encontraba en afirmar que **los genes eran destino** y, por lo tanto, se deducía que el racismo y otras formas de opresión eran inherentes a la naturaleza humana. Como suele ocurrir cuando se propaga una ideología “controversial”, numerosos académicos entablaron argumentos para contrarrestar esta manera de pensar. Una de las publicaciones generadas en este fuego cruzado fue *No está en los genes: racismo, genética e ideología*.

La nueva edición de este libro regresa a los anaqueles después de casi cuarenta años de su primera aparición. Es fruto del trabajo colectivo del genetista y evolucionista Richard C. Lewontin, el neurobiólogo Steven Rose y el psicólogo Leon J. Kamin. Los autores escribieron este texto como una respuesta al ambiente *de derecha* que se vivía en esos tiempos y a publicaciones científicas que alimentaban dicho entorno (destacando “El gen egoísta”, de Richard Dawkins, como una de sus mayores agravantes -abajo una parodia del biólogo-). Desde su introducción, aclaran que la premisa principal del libro no es demostrar la falacia de esos modelos conservadores, sino invitar al lector a llegar a sus propias conclusiones.

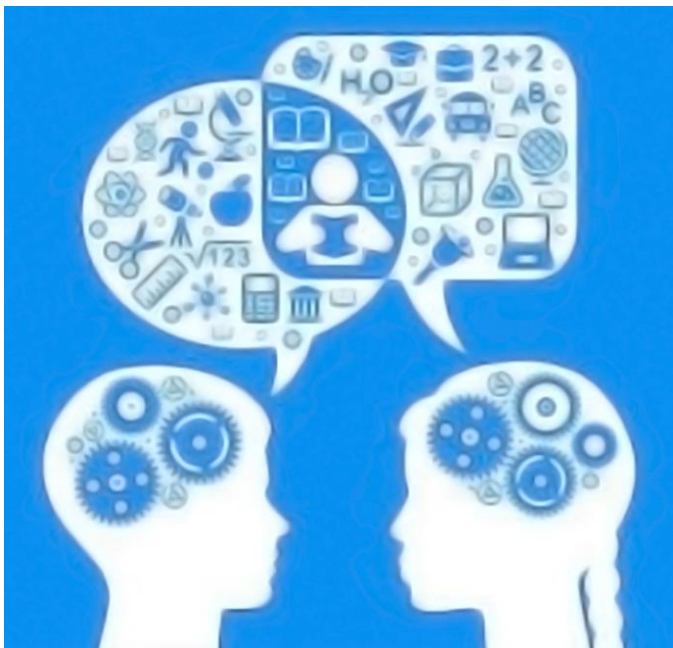


Los primeros cuatro capítulos contextualizan la problemática e introducen a los actores principales. En una primera instancia hablan del “determinismo biológico” como consecuencia de la teoría evolutiva centrada en los genes y cómo este empezó a utilizarse para justificar una enorme cantidad de fenómenos sociales. Asimismo, se hace una reflexión sobre el papel que jugamos los científicos en la generación de dichos modelos de conocimiento, reflexionando acerca de cómo las investigaciones que se hacen día a día en los laboratorios no siempre llegan al público que se necesita (o tiene que) llegar y de cómo los intereses económicos intervinieron para guiar el resultado de diversas investigaciones; algo que sigue siendo relevante en la actualidad en la que todo quiere entenderse en *absolutos* y afirmar que “toda la ciencia es objetiva” vs “toda la ciencia sirve a los intereses capitalistas”.

Se introduce la idea de lo peligroso que es reducir la naturaleza humana a una mera consecuencia del material genético y sus implicaciones en el libre albedrío de las personas a futuro.

Los siguientes capítulos desarticulan las aplicaciones del determinismo biológico, criticando los modelos que las sustentan y ofreciendo alternativas al respecto. La primera de ellas es el concepto de “coeficiente intelectual”, el cual surgió para tratar de respaldar la falta de acceso a la educación superior por parte de las poblaciones con un menor poder adquisitivo. Aquí, el concepto de “inteligencia” es puesto en tela de juicio. Se hace hincapié en cómo el concepto ha cambiado con el tiempo y muestra cómo los “experimentos” realizados para sustentar que la inteligencia es hereditaria o no dependían de la población racial, además de estar mal elaborados, ser tendenciosos y no replicables.





El siguiente tema tratado en el libro es el género. Los autores hacen una severa y adecuada crítica a los conceptos que ahora conocemos como neurosexismo y desbancan los anacrónicos modelos que dividían a los cerebros en “femeninos” y “masculinos”. Asimismo, retoman las ideas de algunas autoras feministas contemporáneas y reflexionan en torno al patriarcado, la división sexual del trabajo, la construcción del sistema sexogenérico y el machismo imperante en las áreas del conocimiento científico en esa (y en esta) época. El tema de la diversidad sexual es mencionado cuando se reconoce que la homosexualidad es un ejemplo de que, basar las relaciones humanas en la capacidad reproductiva es un error que limita la sexualidad humana.



Los polémicos autores cierran esta sección hablando de Salud mental y del uso de la psiquiatría como herramienta dentro del sistema penal. Tuvieron un gran acierto al señalar los errores en el diseño de experimentos que buscaban justificar y reducir la complejidad de ciertas neurodivergencias, tales como la esquizofrenia, a meros padecimientos controlables farmacológicamente. Ahora sabemos que estas, y muchas otras neurodivergencias, tienen un origen mayormente exógeno, pero sigue siendo un tema poco difundido dentro de la educación para la salud que se hace en México (incluso para profesionales de áreas científicas que tendrían la capacidad para entender dicho tema).



La premisa inicial se retoma en la última parte del libro. Utilizando los capítulos anteriores como ejemplos, se construye el argumento de que las relaciones entre la genética

de los individuos, el medio ambiente y la sociedad en la que viven no pueden entenderse de manera unidireccional.

Es decir, los seres humanos tenemos la capacidad de modificar nuestro entorno de acuerdo a nuestras características biológicas, y estas en ningún momento representan una limitante. Esta reflexión debe repercutir en todos los que nos dedicamos a la ciencia en México, pues representamos el referente para muchas personas de cómo impactan las investigaciones científicas (de nuestras áreas y también de otras áreas) en su día a día. Nuestras opiniones, nuestros comentarios y nuestras posturas son muchas veces vistas con respeto y con bastante peso, cual si en verdad fuéramos autoridades en nuestras áreas del conocimiento.

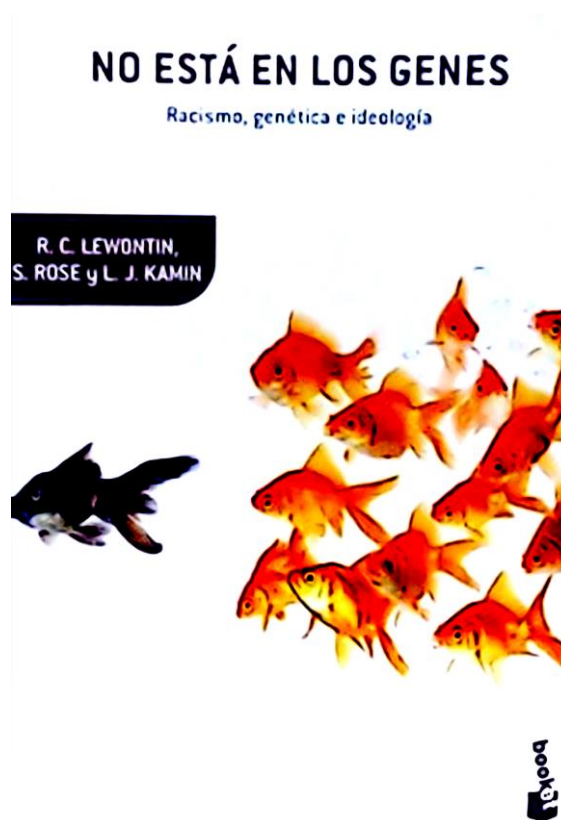


El lenguaje de la obra es accesible, tanto para quienes tienen una formación científica como para el público general. La traducción es óptima, con pies de página que mantienen la claridad a lo largo del texto. Los capítulos iniciales pueden resultar algo tediosos, con una redacción rebuscada y una gran cantidad de referentes filosóficos que no resultan atractivos, en la primera hojeadura (para la cual recomiendo una segunda lectura). El resto del libro desglosa los temas ya mencionados de manera amena e invita a seguir leyéndolo hasta llegar a la gran conclusión del final. Es particularmente interesante ver el análisis que hacen de los experimentos que refutan, pudiendo sacar varias ideas aplicables a nuestros proyectos (académicos o personales).

Este libro es un formidable punto de partida para reflexionar la naturaleza de las ciencias en el desarrollo libre y digno de las personas.

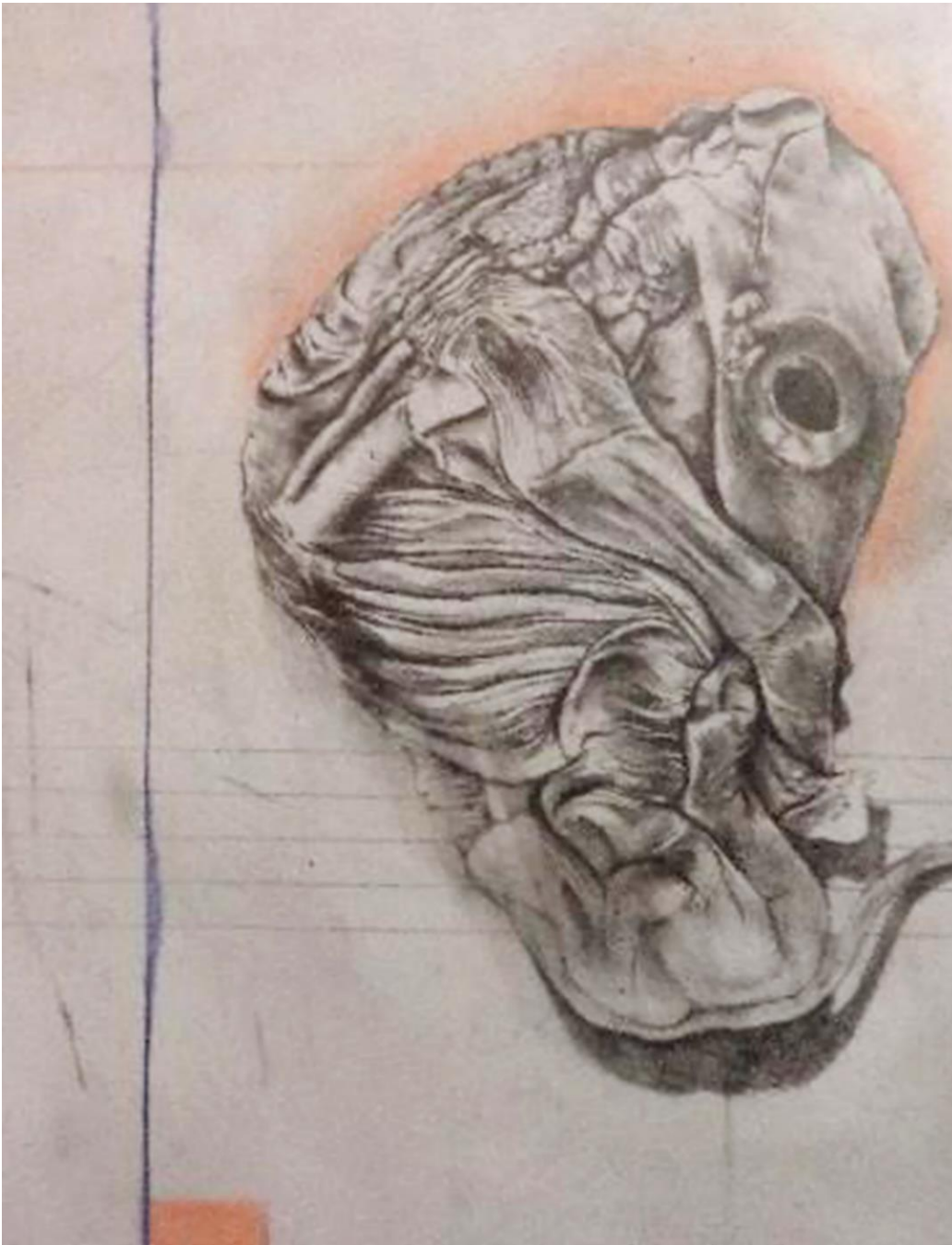
Habla del papel que juega todo el elenco científico dentro de la construcción y comunicación de las diversas áreas del conocimiento.

ISBN: 9788474239256



Noticias

Diamantes negros, cálculos cuánticos, publicaciones multiautor y telururo de uranio



Diamantes negros

Por: Andrés Galdamez Martínez

A principios del siglo XX, el escritor de ciencia ficción Jack London publicó un cuento corto llamado *The shadow and the flash*. En este relato, el protagonista Lloyd Inwood crea una pintura capaz de absorber toda la luz incidente para después cubrirse con ella y ser invisible en la oscuridad.

En la actualidad, esta historia abandona el terreno de la ficción para convertirse en realidad, ya que investigadores del MIT han desarrollado un recubrimiento de nanotubos de carbono que es capaz de absorber 99.995% de radiación visible [1]. Con este nuevo material, el grupo de investigación incursiona en el arte recubriendo la superficie de diamantes, generando así un contraste entre extremos opuestos de un mismo elemento: diamantes negros.



1] F. Reid and F. Reid, “Black Diamonds,” *Keir Hardie*, vol. 18, no. November, pp. 46–71, 2019.

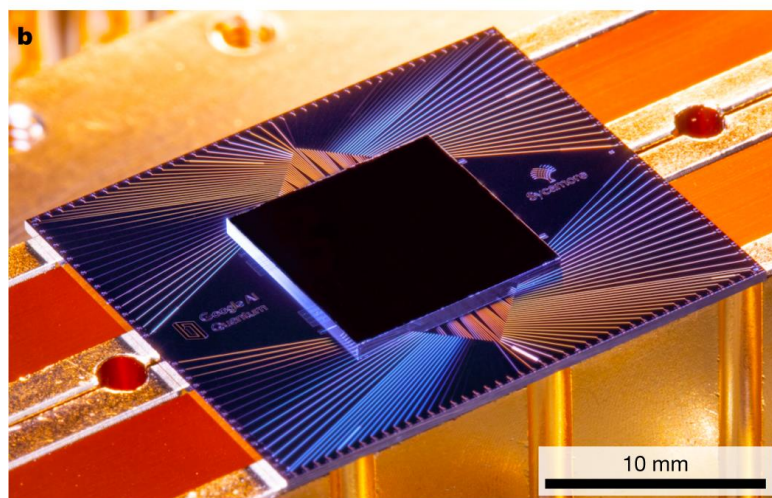
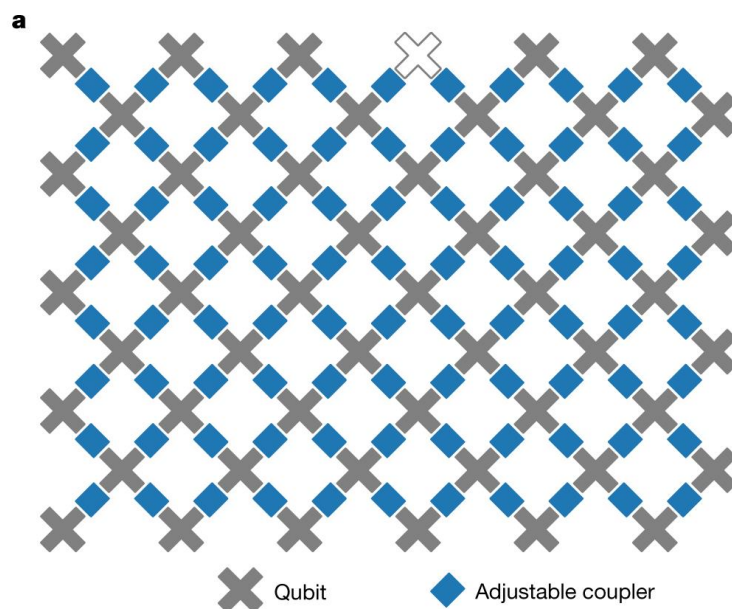
Procesador programable basado en superconductor

Por: César Augusto F. G.

En octubre de 2019, el grupo de Martinis (de UC Santa Barbara/Google Quantum AI) reportó un cálculo cuántico que le tomaría 10 000 años a la supercomputadora clásica más potente que existe hoy en día, pero solo le tomó 200 segundos en su computadora cuántica (lo que es 1.5 trillion de veces más rápido).

La computadora cuántica usa un procesador “Sycamore” programable basado en superconductor, que tiene 53 cúbits entrelazados y utiliza el algoritmo de Schrödinger. Esta nueva tecnología puede tener aplicación en Química, Ciencia de materiales e Inteligencia artificial.

<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1666-5>



¡Los millennials demandamos fama!

Por: Astron Martínez

Este 2019 se publicó el famoso retrato del agujero negro. Tres centenas y media de científicos figuran como autores de la reciente publicación, que es de acceso libre bajo la licencia de Creative Commons.

Y lo cierto es que la época en la que la Ciencia la hacían personajes únicos, de forma más o menos independiente, pasó hace ya varios años. Lo que nos queda ahora es un protagonismo fragmentado (y quizá hasta, no lo sé, ¿un premio Nobel?) repartido en centenares de pedacitos.

Nos toca, pues, enseñarles a las nuevas generaciones que la Ciencia es un acto colectivo. Aunque no estoy muy seguro de que esto cambie en algo la ilusión aspiracional de querer ser uno de aquellos héroes y heroínas científicos que immortalizamos en bronce y que vemos en las caricaturas y de los que leemos en biografías científicas (como las que cariñosamente reunimos número a número en esta, su revista *Materiales Avanzados*, en la sección de Biografías). A lo mucho nos queda aspirar a ser uno más entre estos 348 nombres.



M87* April 11, 2017

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS, 875(1) (7pp), 2019 April 10
© 2019. No copyright intended. Released under the Creative Commons Attribution 4.0 license. See <https://doi.org/10.3847/2041-8213/ab0677>

OPEN ACCESS

First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole

The Event Horizon Telescope Collaboration
(See the end matter for the full list of authors.)

Received 2019 March 1; revised 2019 March 12; accepted 2019 March 12; published 2019 April 10

The Event Horizon Telescope Collaboration
Kazuo Akiyama^{1,2,3,4}, Anton Alberdi^{5,6}, Walter Alef⁷, Keichi Asada^{8,9}, Rebecca Araña^{10,11}, Anne-Kathrin Baczko¹²,
David Ball^{13,14}, Miles Bakolic^{15,16}, John Barvain¹⁷, Dan Basley¹⁸, Lindsey Blackburn^{19,20}, Wilfried Boland²¹,
Katherine L. Bouman^{22,23}, Geoffrey C. Bower²⁴, Michael Bremer²⁵, Christian D. Brinkmann²⁶, Roger Brunsden²⁷,
Sara Brusa²⁸, Avery E. Broderick^{29,30}, Dominique Brüggen³¹, Thomas Brunning³², De-Yong Bryae³³,
John E. Carlstrom^{34,35,36}, Andrew Chatter³⁷, Chi-Kwan Chan^{38,39}, Shant Charney⁴⁰, Koushi Chatterjee⁴¹,
Ming-Tang Chen⁴², Yueshan Chen^{43,44}, Ipe Chel^{45,46}, Peter Christian^{47,48}, John E. Conway⁴⁹, James M. Cordes⁵⁰,
Geoffrey R. Crew⁵¹, Yuhai Cui^{52,53}, Jody Davelaar⁵⁴, María Dolores De Launay^{55,56}, Roger Downes⁵⁷,
Jessica Dempsey⁵⁸, Gregory Devogele⁵⁹, Jason Dexter⁶⁰, Shep S. Doeleman⁶¹, Ralph P. Easwari⁶²,
Helen Falcke⁶³, Vincent L. Fish⁶⁴, Ed Fomalont⁶⁵, Ragan Fraaije⁶⁶, William T. Freeman^{67,68}, Per Friberg⁶⁹,
Christian M. Fromme⁷⁰, Joel I. Gómez⁷¹, Peter Gürtel^{72,73}, Charles F. Gammie^{74,75}, Roberto García⁷⁶, Oliver Gemm⁷⁷,
Boris Gerke⁷⁸, Cristian Ghera⁷⁹, Roman Gold⁸⁰, Mingde Gu^{81,82}, Mark Gwinn⁸³,
Kushida Hada⁸⁴, Michael H. Heide⁸⁵, Randall Hogen⁸⁶, Lian C. Ho^{87,88}, Paul Ho⁸⁹, Masaki Honda^{90,91},
Chih-Wei L. Huang⁹², Lei Huang⁹³, David H. Hughes⁹⁴, Shiro Inada^{95,96,97}, Makoto Inoue⁹⁸, Sara Isozumi⁹⁹,
David J. James¹⁰⁰, Baoli T. Jansen¹⁰¹, Michael Janssen¹⁰², Roman Jara¹⁰³, Wu Jiang¹⁰⁴,
Michael D. Johnson¹⁰⁵, Svetlana Jorstad¹⁰⁶, Tatyana Jung^{107,108}, Mamee Karam¹⁰⁹, Ramesh Karapetian¹¹⁰,
Tomohisa Kawahara¹¹¹, Gerrit K. Keating¹¹², Mark Ketten¹¹³, Jae-Young Kim¹¹⁴, Junhui Kim¹¹⁵, Jongsoo Kim¹¹⁶,
Motoki Kino¹¹⁷, Jun Yi Koo¹¹⁸, Patrick M. Koch¹¹⁹, Shoko Koyama¹²⁰, Michael Kramer¹²¹, Carsten Kramer¹²²,
Thomas P. Krichbaum¹²³, Cheng-Yu Kuo¹²⁴, Tol R. Lau¹²⁵, Song-Sang Lee¹²⁶, Yao-Rong Li¹²⁷,
Zhiyuan Li^{128,129}, Michael Lindqvist¹³⁰, Kuo Liu¹³¹, Elisabeth Lüzén¹³², Wen-Ping Lo¹³³, Andrei P. Lobanov¹³⁴,
Laurent Loinard¹³⁵, Colin Lonsdale¹³⁶, Ru-Sen Lu¹³⁷, Nicholas R. MacDonald¹³⁸, Jiong Mao¹³⁹,
Sara Madsen¹⁴⁰, Daniel P. Marrone¹⁴¹, Alan P. Mincer¹⁴², Jia-Ming Mingo¹⁴³, Saki Matsushita¹⁴⁴,
Lynn D. Matthews¹⁴⁵, Lia Medeiros¹⁴⁶, Karl M. Menten¹⁴⁷, Yusuke Mizuno¹⁴⁸, Izumi Mizuno¹⁴⁹, James M. Moran¹⁵⁰,
Kotaro Moriyama¹⁵¹, Monika Muschick¹⁵², Corinna Müller¹⁵³, Hiroshi Nagai¹⁵⁴, Neil M. Nagar¹⁵⁵,
Masamune Nakamura¹⁵⁶, Ramon Narayan¹⁵⁷, Gopal Narayanan¹⁵⁸, Jayant Nataraaj¹⁵⁹, Roberto Neri¹⁶⁰, Chunsheng Ni¹⁶¹,
Antonio Novak¹⁶², Hiroaki Okino¹⁶³, Heide Oliveira¹⁶⁴, Gisele N. Ortiz-León¹⁶⁵, Tomoki Oyama¹⁶⁶, Feryal Ozel¹⁶⁷,
Daniel C. M. Palumbo¹⁶⁸, Nimish Patel¹⁶⁹, Li-Li Peng^{170,171}, Dominic W. Price¹⁷², Vincent Riviere¹⁷³,
Richard Planteck¹⁷⁴, Aleksandar Popovic¹⁷⁵, Oliver Port¹⁷⁶, Ben Prother¹⁷⁷, Jorge A. Preciado-López¹⁷⁸,
Dimitrios Psaltis¹⁷⁹, Hang-Yi Pu¹⁸⁰, Venkatesh Ramakrishnan¹⁸¹, Ramprasad Rao¹⁸², Mark G. Rawlings¹⁸³,
Alexander W. Raymont¹⁸⁴, Luciano Rezzolla¹⁸⁵, Hart Rappaport¹⁸⁶, Frank Read¹⁸⁷, Alan Rogers¹⁸⁸, Eduardo Roja¹⁸⁹,
Mel Rose¹⁹⁰, Arash Roshanfar¹⁹¹, Helge Rottmann¹⁹², Alan L. Roy¹⁹³, Chet Ruszczyk¹⁹⁴, Benjamin R. Ryan¹⁹⁵,
Karl L. J. Rygl¹⁹⁶, Salvador Sánchez¹⁹⁷, David Sánchez-Aguilera¹⁹⁸, Mahesh Sasmal¹⁹⁹, Thomas Saviane²⁰⁰,
F. Peter Schöberl²⁰¹, Karl-Friedrich Schuster²⁰², Liang Shao²⁰³, Zhigang Shen²⁰⁴, Des Snodgrass²⁰⁵,
Hong Wen Sze^{206,207}, Jason Sze²⁰⁸, Fumie Tanaka²⁰⁹, Paul Tiede²¹⁰, Remy P. J. Tilanus^{211,212}, Michael Tims²¹³,
Keiji Torii²¹⁴, Pablo Torricelli²¹⁵, Tyler Trest²¹⁶, Sascha Trapp²¹⁷, Shuichiro Tsubata²¹⁸, the van Belle²¹⁹,
Hubert van Langevelde²²⁰, Daniel R. van Rossum²²¹, Jan Wiegman²²², John Wiedt²²³, Jonathan Weinreb²²⁴,
Norbert Wex²²⁵, Robert Wharton²²⁶, Maciek Wielgos²²⁷, George N. Wong²²⁸, Qingwen Wu²²⁹, Ken Young²³⁰,
André Young²³¹, Zhi You²³², Feng Yuan²³³, Ye-Pei Yuan²³⁴, J. Anton Zensus²³⁵,
Guangyao Zhao²³⁶, Shao-Shan Zhao²³⁷, Ziyun Zhu²³⁸, Juan Carlos Abalo²³⁹, Alexander Albrecht²⁴⁰, Rodrigo Amaro-Agost²⁴¹,
Jadyn Anczarski²⁴², Uwe Bach²⁴³, Frederick K. Baganoff²⁴⁴, Christopher Beaudoin²⁴⁵, Bradford A. Benson²⁴⁶,
Ryan Berthold²⁴⁷, Jay M. Blumhardt²⁴⁸, Ray Blundell²⁴⁹, Sandra Brusaume²⁵⁰, Roger Capaldi²⁵¹,
Edgar Castillo-Dominguez²⁵², Chih-Cheng Chang²⁵³, Shih-Hua Chang²⁵⁴, Song-Chi Chang²⁵⁵, Cheng Chen²⁵⁶,
Ryan Chibon²⁵⁷, Tim C. Chatter²⁵⁸, Rodrigo Córdova-Rosa²⁵⁹, Iain M. Coulson²⁶⁰, Thomas M. Crawford²⁶¹,
Joseph Crowley²⁶², John Dierker²⁶³, Mark Dierker²⁶⁴, Sven Dierker²⁶⁵, Kevin A. Dubois²⁶⁶,
Sergey A. Dzh²⁶⁷, Andrew Eckart²⁶⁸, Chik Eickert²⁶⁹, Nial R. Erickson²⁷⁰, Wendell B. Everett²⁷¹, Aaron Faber²⁷²,
Joseph R. Farah²⁷³, Vernon Fazio²⁷⁴, Thomas W. Follmer²⁷⁵, David C. Forbes²⁷⁶, Robert Freund²⁷⁷, Arturo I. Gómez-Ruiz²⁷⁸,
David M. Gale²⁷⁹, Feng Gao²⁸⁰, George Gertzema²⁸¹, David A. Gubler²⁸², Christopher H. Grier²⁸³, Ronald Grunwald²⁸⁴,
Fridrick Guth²⁸⁵, Daryl Haggan^{286,287}, Nih W. Halverson²⁸⁸, Chih-Chang Han²⁸⁹, Kuo-Chang Hsu²⁹⁰, Jinchi Hsu²⁹¹,
Yutaka Hasegawa²⁹², Jason W. Hewning²⁹³, Antonio Hernández-Gómez²⁹⁴, Rubén Herrero-Illana²⁹⁵, Stefan Hoenig²⁹⁶,
Akshita Hones²⁹⁷, James Hough²⁹⁸, C. M. Violent Impeller²⁹⁹, Hsin-Jung³⁰⁰, Aida Kanihke³⁰¹,
Erik Keiser³⁰², Kimhito Kimura³⁰³, Yusuke Kono³⁰⁴, Derek Kober³⁰⁵, John Kuroki³⁰⁶, Richard Lacasse³⁰⁷, Robert A. Laing³⁰⁸,
Rik L. Lehar³⁰⁹, Chao-Yi Li³¹⁰, Lijun Li³¹¹, Ching-Tang Lin³¹², Kun-Yi Lin³¹³, Li-Ming Lu³¹⁴, Ralph G. Marston³¹⁵,
Piero L. Martin-Gonzalez³¹⁶, Kyle D. Mattingly³¹⁷, Collie Matheson³¹⁸, Martin P. McConnell³¹⁹, Stephen S. McWhirter³²⁰,
Hugo Messias^{321,322}, Zheng Meyer-Zhao³²³, Daniel Michalik^{324,325}, Alfredo Montaña³²⁶, William Montmerle³²⁷,
Matias Mora-Klein³²⁸, Dirk Müller³²⁹, Andrew Nader³³⁰, Santiago Narayan³³¹, Joseph Neilsen³³², Chi H. Nguyen³³³,
Hiroaki Nishikida³³⁴, Timothy Norrie³³⁵, Michael A. Novak³³⁶, George Nyman³³⁷, Helen Ogata³³⁸, Peter Oshiro³³⁹,
Tomoki Oyama³⁴⁰, Harriet Parson³⁴¹, Scott N. Paine³⁴², Juan Peláez³⁴³, Neil M. Phillips³⁴⁴, Michael Piner³⁴⁵,
Nicolas Pradel³⁴⁶, Rik A. Pridmore³⁴⁷, Philippe A. Ralain³⁴⁸, Alexandra S. Ralain³⁴⁹, George Reiland³⁵⁰,
Christopher Reischer³⁵¹, Ignacio Ruiz³⁵², Alejandro F. Soto-Medina³⁵³, Rami Soudry³⁵⁴, Tim Schellert³⁵⁵, Paul Shaw³⁵⁶,
Kevin M. Silva³⁵⁷, Hataka Shiohara³⁵⁸, David R. Smith³⁵⁹, William Snow³⁶⁰, Kamel Soucar³⁶¹, Don Sousa³⁶²,
T. K. Sridharan³⁶³, Rajani Srinivasan³⁶⁴, William Stahler³⁶⁵, Anthony A. Stark³⁶⁶, Kyle Sorey³⁶⁷, Sjoerd T. Timmer³⁶⁸,
Lars Vornbach³⁶⁹, Cong Walton³⁷⁰, Te-Shun Wei³⁷¹, Nathan Whitham³⁷², Alan R. Whitney³⁷³, David P. Woody³⁷⁴,
Jan G. A. Wouterloot³⁷⁵, Melvin Wright³⁷⁶, Paul Yampouky³⁷⁷, Chen-Yu Yu³⁷⁸, Milagros Zebalá³⁷⁹,
Shao Zhang³⁸⁰, and Lucy Zuy³⁸¹

Original content from this work may be used under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 license. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal name, and DOI.

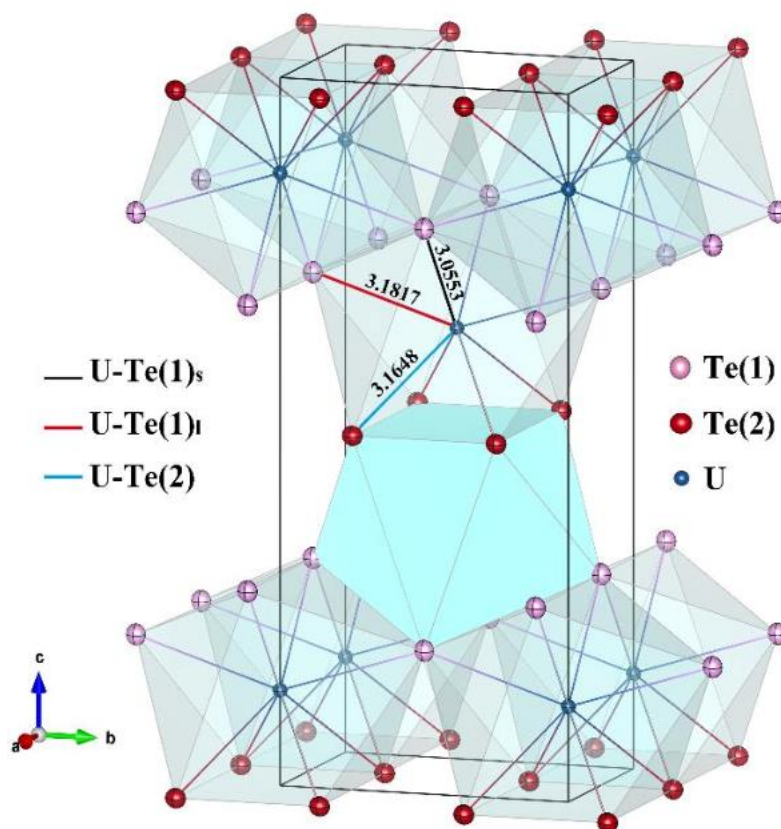
Superconductividad en campos magnéticos extremos

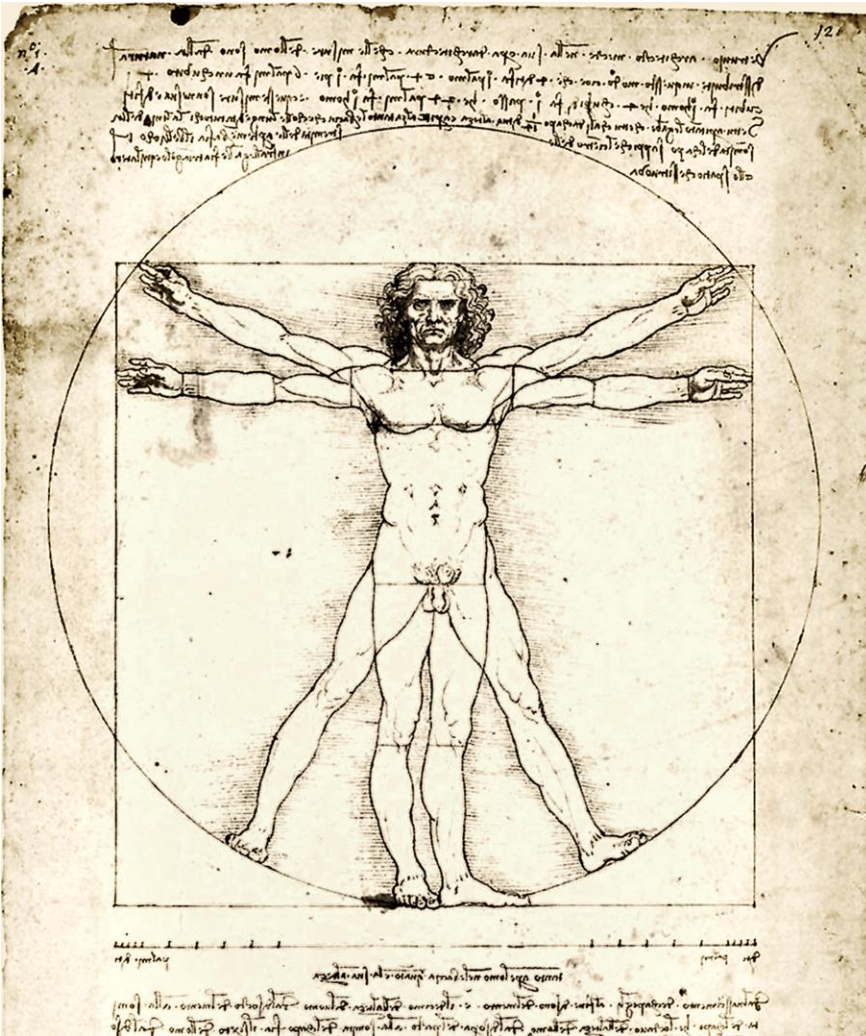
Por: Míriam García Vargas y Mario Rojas Rodríguez

Es bien conocido que un campo magnético rompe el estado superconductor, principalmente debido al rompimiento de los pares de electrones (pares de Cooper) que forma dicho estado. También se sabe que los superconductores tipo II son caracterizados por tener su campo crítico superior (H_{c2}) muy intenso. Otro ingrediente de la superconductividad bien establecido es que la formación de los pares de Cooper resulta de la interacción electrón-fonón, sin embargo, ya se conocen superconductores en donde se sospecha que la formación de pares de electrones puede ser debida a interacciones magnéticas. Estos superconductores son clasificados como exóticos, entre los cuales están aquellos que presentan el fenómeno de superconductividad reentrante. Estos superconductores pasan al estado superconductor a la temperatura crítica (T_c) y a temperaturas menores recuperan el estado normal (pierden la superconductividad). Este fenómeno ocurre porque en el material existe algún orden magnético que compite con la superconductividad.

Los superconductores que presentan este comportamiento son realmente pocos. Recientemente se reportó un estudio del comportamiento magnético del UTe_2 en forma cristalina, material superconductor con $T_c=1.6$ K. El UTe_2 muestra una gran anisotropía en sus propiedades, en particular en sus propiedades magnéticas. De manera resumida se puede comentar que al medir H_{c2} en diferentes direcciones de la estructura cristalina (ortorrómbica) H_{c2} toma valores muy distintos; cuando se aplica el campo magnético paralelo al eje a de la estructura cristalina, H_{c2} es de aproximadamente 6 T, en la dirección b es cercano a 35 T y en la dirección paralela al eje c es aproximadamente de 10 T. El comportamiento fuera de lo común se observó al aplicar el campo magnético en el plano b - c , con ángulos entre 25 a 40° respecto del eje b . En estas condiciones se observó que en el UTe_2 se pierde la superconductividad para campos mayores de 14 T, pero a campos cercanos a 40 T y hasta 65 T el estado superconductor se recupera.

Cabe señalar que el UTe_2 no presenta orden magnético, desde el punto de vista magnético se considera un paramagneto. Los autores de esta investigación dicen que el estado superconductor es debido principalmente a fluctuaciones magnéticas, por lo que se sospecha que la interacción que forma los pares de Cooper es de origen magnético, cabe señalar que los pares de Cooper están apareados en triplete. Los detalles de esta noticia se pueden encontrar en; S. Ran et al. Nature Physics, **15** (2019) 1250.





Biografía

A quinientos años de la muerte de Leonardo da Vinci

Juan Carlos Yustis

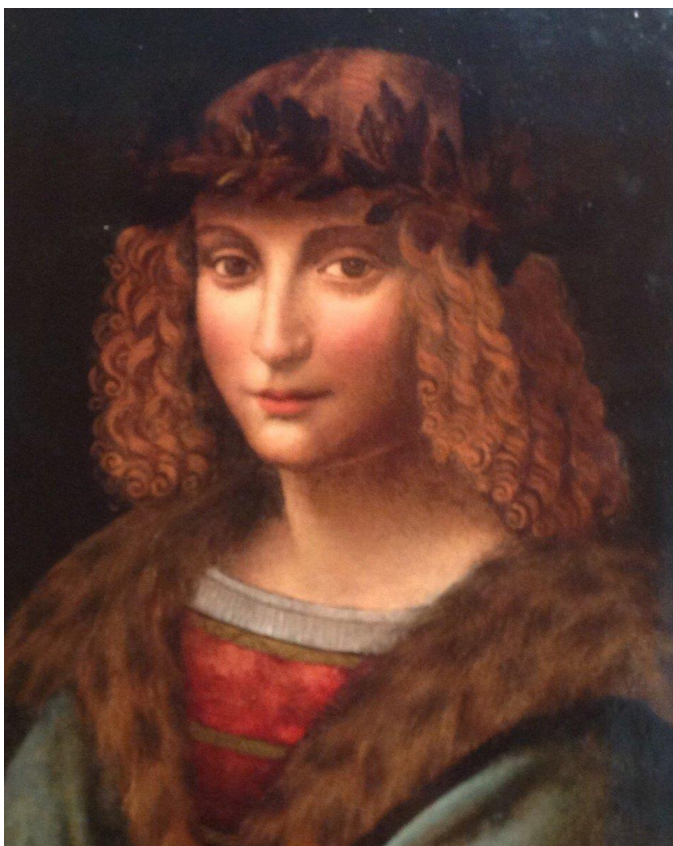
Instituto de Astronomía
Universidad Nacional Autónoma de México
Cd. Universitaria, CP 70360, Coyoacán 04510, México, CDMX

yustis@astro.unam.mx

Este hombre de gran genio murió en Amboise (Francia) el 2 de mayo de 1519 a los 67 años de edad. Se ha especulado que la causa final fue una embolia cerebral. Solo unos días antes, el 23 de abril de 1519, Leonardo, aquejado de varias enfermedades, dictó su testamento ante el notario de Amboise, Guillermo Boreau. Solicitó un sacerdote para confesarse y recibir la extremaunción. Fue enterrado en la capilla de Saint-Hubert en el Castillo de Amboise. Según su expresa voluntad, 60 mendigos, cada uno con un cirio, siguieron su ataúd y fueron recompensados por ello.

Con los años su tumba fue olvidada. En algunos escritos se comenta que murió en los brazos del joven rey de Francia Felipe I, quien fue su protector durante sus últimos tiempos, aunque esto aún se debate por las supuestas interpretaciones de un epitafio cuya existencia se cuestiona. 50 años después su tumba fue violada, probablemente debido a violentos conflictos entre católicos y hugonotes. Algunos autores afirman que los restos de Leonardo siguen ahí, mientras otros dudan profundamente de ello.

Leonardo heredó, entre otros, a su antiguo alumno y compañero Gian Giacomo Caprotti da Oreno (Salai), joven adoptado desde la tierna edad de 10 años, quien partió de regreso a Italia poco antes de la muerte de su maestro. El más importante legado lo dejó en custodia al Conde Francesco Meltzi, también alumno y compañero de Leonardo, en quien confiaba profundamente. Hablaremos de ello posteriormente dada la enorme importancia que tiene.



Salai, autorretrato

Leonardo di ser Piero da Vinci nació el 15 de abril de 1452 en una pequeña localidad llamada Vinci situada a escasos kilómetros de Florencia. Hijo bastardo del reconocido Notario Messer Piero Fruosino di Antonio y una campesina llamada Caterina. Fue separado de su madre y llevado a la casa paterna. Messer Piero muy pronto se percató de lo realmente especial que era su hijo y las dotes que tenía para el arte, por lo que lo encaminó al lugar de Verrochio en 1467, taller que era muy reconocido en Florencia, ciudad estado que era entonces

centro del conocimiento y desarrollo renacentista. Ahí aprendió muchas de las artes como la pintura, escultura, principios de ingeniería, química, metalurgia y talabartería, todos ellos conocimientos que le brindarían grandes herramientas para sus muy variados emprendimientos. A su llegada al taller se trabajaba arduamente en la esfera de metal que coronaría la cúpula de la catedral proyectada por Brunelleschi, que fue la más alta del mundo hasta que se erigió la de San Pedro en Roma. Después de algún tiempo, como era costumbre, Verrochio encargaba a sus discípulos ciertos trabajos en sus obras. Así Leonardo pintó el ángel que se encuentra en la parte inferior izquierda del cuadro del bautismo de Jesucristo. Se dice que fue tal el impacto de Verrochio al ver el cuadro que se sintió superado por el joven Leonardo y no volvió a pintar más. En 1472, cuando Leonardo tenía alrededor de 20 años aparece ya registrado en el llamado Libro Rojo. En este aparecía el gremio de doctores en medicina y artistas conocidos también como “Campagna de Pittori.



Estudios de aves

Leonardo pintor

Harto conocido es Leonardo por su trabajo como pintor, mucho más que por cualquiera de las otras áreas en las cuales él tenía mucho mayor interés. Mencionaremos solo algunos de estos trabajos pictóricos.

La última cena. Es una pintura mural ejecutada entre 1495 y 1498. Se encuentra en el refectorio del convento dominico de Santa María delle Grazie, en Milán, Italia. Leonardo tuvo varios fracasos por la invención de nuevas técnicas que llevaron al mural al deterioro hoy tan conocido. Lo mismo sucedió con La Batalla de Angieri, de la que conocemos solo algunos apuntes y el famoso cuadro realizado por Rubens.

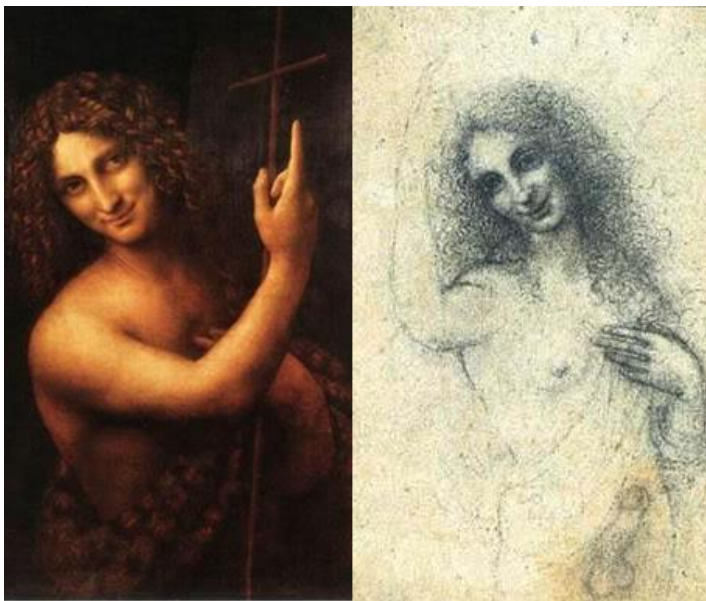
El **Hombre de Vitruvio** o estudio de las proporciones ideales del cuerpo humano es el famoso dibujo realizado alrededor del año 1490 en uno de sus diarios. En este da Vinci asegura que resolvió el antiguo problema de la relación entre el círculo y el cuadrado.

El **Retrato de Lisa Giardini** esposa de Francesco del Giocondo, más conocido como La Gioconda o La Mona Lisa, es probablemente la más célebre de sus obras. Sin embargo, se duda que sea el retrato de la propia Lisa, pues el rostro es en extremo parecido al de su San Juan Bautista, su Baco y a un autorretrato de Gian Giacomo Caprotti (Salai), su alumno, asistente y constante compañía de Leonardo.



Entre otras grandes obras están sus Madonas, La Anunciación, La Virgen de la Cueva, el reciente descubierto Salvatore Mundi, Madona Litta y otras más.

Leonardo da Vinci es el gran personaje del renacimiento, símbolo de todo lo que ese nuevo despertar de la humanidad significaba. Conocido como gran pintor, sus obras opacaron el enorme legado que nos deja en sus incontables manuscritos y dibujos, que lo retratan como un insaciable buscador del conocimiento, poniendo en ello su propia integridad.



Realmente la pasión de Leonardo estaba en su necesidad por entender el funcionamiento del mundo, dedicando a ello la mayor parte de su tiempo y esfuerzo, y relegando a la pintura a segundo término, pero considerando el dibujo como el indispensable instrumento para plasmar sus conocimientos.

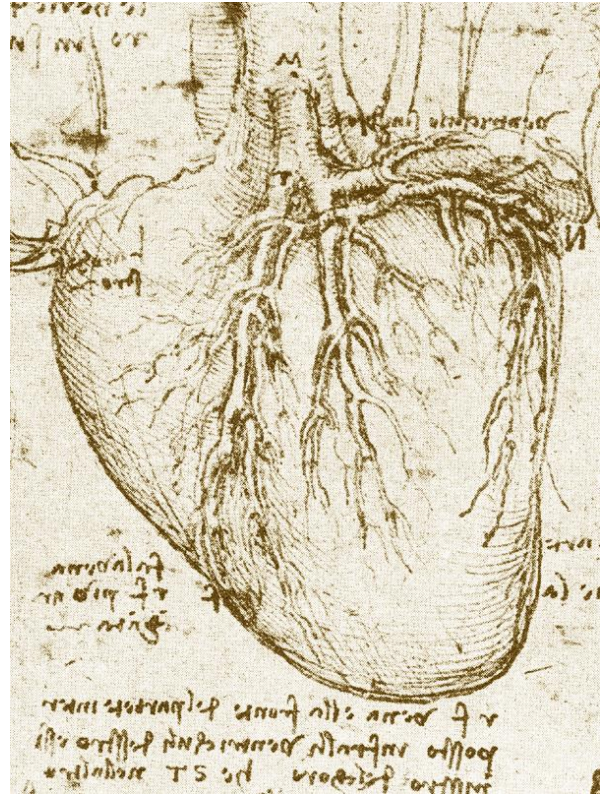
Podemos ver este pensamiento en su “Tratatto da la Pittura” que es una minuciosa recopilación de Francesco Melzi, leal alumno y compañero de Leonardo, heredero de los escritos dejados por Leonardo y que hacen referencia a este arte. Es conveniente señalar que Leonardo nunca aprendió correctamente el latín que era el idioma del conocimiento en la época, y que la mayoría de sus notas están escritas de derecha a izquierda en un rudimentario Toscano antiguo. Como sabemos el maestro era zurdo por nacimiento, aunque se dice que desarrolló una gran capacidad para ser ambidiestro.

Incansable buscador del conocimiento, trataba de encontrar con avidez libros que le proporcionaran sabiduría.

El maestro Leonardo da Vinci era un hombre al que su velocidad de pensamiento rebasaba por mucho su habilidad para capturar el conocimiento. Esto provocó que la mayor parte de sus escritos, acompañados casi siempre de múltiples dibujos y diagramas, fueran capturados de muy indisciplinada manera, por lo que ha sido en extremo difícil encontrar una forma eficiente de organizar todo su material.

Hagamos un poco de historia

El conde Francesco Melzi, quien se convirtió en aprendiz de Leonardo en 1506 y muy cercano a sus afectos fue su principal heredero y albacea del testamento. Recibió dinero, pinturas, instrumentos y otros efectos personales, especialmente todos sus escritos y dibujos. Francesco dedicó el resto de su vida a poner orden en el enorme acervo. Algunas cifras refieren cerca de 20 mil folios de los que conocemos solo 7 mil en distintos Codex o Códices. Administró esta herencia por 50 años, y no vendió nunca ninguna pintura ni publicó obra alguna de Leonardo, aunque había un gran interés del maestro por que se publicara su obra de estudios anatómicos. La fidelidad a Leonardo mantuvo intacta esta colección por el enorme respeto y amor que le profesaba.



La fatalidad llegó al trabajo de Leonardo en la figura de Oratio Melzi, hijo de Francesco, quien a la muerte de este decidió guardar todo el invaluable material en un granero húmedo y en malas condiciones. Después fue desperdigado por el interés a veces franco y respetuoso, y otras veces llenos de ambición por la obra del maestro, llevando a que se diseminara por todo el mundo con el funesto resultado que conocemos.

Con el fin de cambiar un poco la mirada de un Leonardo pintor de gran talento a un Leonardo científico de enorme capacidad, deseo comentar sobre su más grande legado que conocemos ahora: sus Códices o Codex alojados en muy variados lugares del mundo, mayormente en Europa.

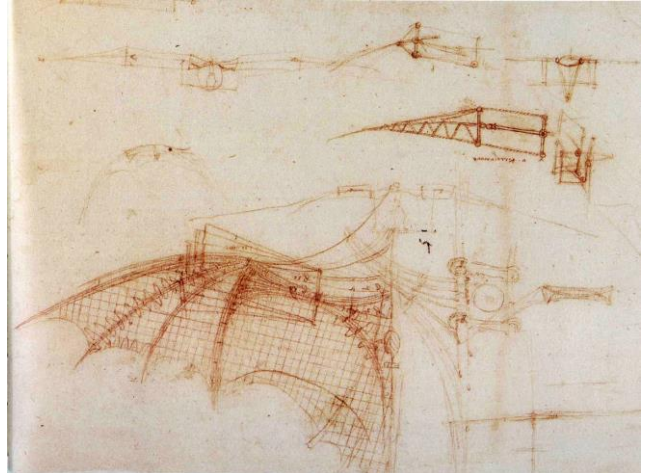
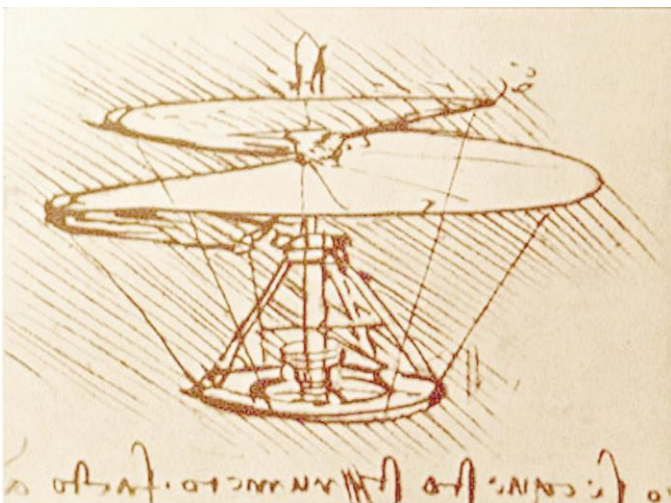
Una carta fechada en 1501 y dirigida a Isabel de Este, marquesa de Mantua, dice lo siguiente sobre Leonardo:

“En definitiva, sus experimentos matemáticos le han distraído tanto de la pintura que no puede padecer el pincel”.

En Mantua Leonardo destacó por un retrato que le hizo a Isabel de Este. En Venecia se presentó como ingeniero militar. En Florencia se dedicó a diversos proyectos urbanísticos. En esos años Leonardo atendía con desgana los encargos pictóricos, dejando una gran cantidad inconclusa.

Leonardo da Vinci fue gran artista del Renacimiento, pero esencialmente un enorme científico.

Entre otros de sus estudios destacan los anatómicos. Dejó innumerables muestras de dibujos y anotaciones referentes al tema, especialmente el del ojo humano, donde hizo grandes descubrimientos, así como el del crecimiento de los fetos en los mamíferos, incluido al del hombre. Descubrió y describió el funcionamiento del corazón y sus cuatro cavidades. Como botánico realizó un gran compendio de estudios en esta materia. Ingeniero de grandes alcances estudió los flujos del agua, la defensa y destrucción de castillos, la construcción de puentes móviles y fijos, los principios del helicóptero, alas mecánicas y fijas para el vuelo, estas últimas muy parecidas a las alas delta de nuestros días.



Los códices

Codex Leicester o Hammer

El Códice Leicester llamado también Códice Hammer contiene multiplicidad de temas probablemente recopilados entre 1508 y 1510, es decir, durante la vida de da Vinci nuevamente podemos encontrar uno de sus temas recurrentes: la Hidráulica. Entre otros, también, algo de Meteorología, Cosmología y Astronomía que eran parte integral del conocimiento de la época. También contiene algunas notas autobiográficas que incluyen relatos y apuntes de viajes. Muchas de sus páginas están ilustradas solo en los márgenes derechos. Se trata del único compendio que realizó el mismo Leonardo; consta de 72 páginas de un tamaño muy parecido al que ahora llamamos Carta o A4.

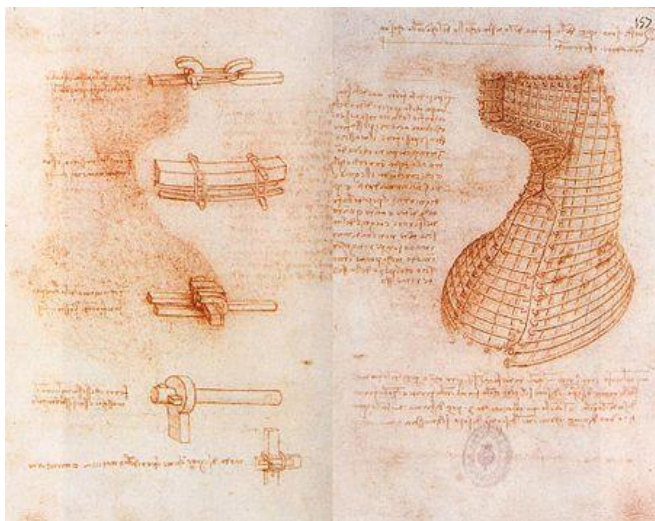
Se sabe que el Codex Leicester perteneció a Giuseppe Ghezzi quien lo vendió en 1717 al Conde de Leicester de nombre Thomas Coke. Se mantuvo y se resguardó en esa familia por más de 250 años en el Palacio de Holkman Hall. En 1980 lo compró en una subasta Armand Hammer, empresario norteamericano. Posteriormente, Bill Gates lo adquirió en una subasta de Christies en la asombrosa cifra de 30 millones 800 mil dólares. Gates actualmente lo mantiene en su poder. Alessandro Penati, quien pertenece a la dirección de la Fundación Cariplo de Milán, pujó también por el codex en esa subasta sin conseguirlo; su intención era devolverlo a Italia.

Codex Atlanticus

Está alojado en la Biblioteca Ambrosiana de Milán en Italia, lugar donde seguramente se generaron múltiples de estos escritos. Recordemos que Leonardo estuvo ahí bajo el principado de los Sforza en varias ocasiones. El Codex Atlanticus lo forman 12 volúmenes y 1119 hojas, integrados por dibujos y escrituras como casi todos los otros Codex Vincianos. Su hechura data entre los años 1478 y 1519, con una enorme multiplicidad de temas: armas, estudios sobre el vuelo, instrumentos musicales, algunas meditaciones filosóficas, entre otros. Este material fue posiblemente reunido por Pompeo Leoni entre 1580 y 1597, casi 60 años después de la muerte del gran maestro.

Codex Matritensis

A Pompeo Leoni, escultor de la corte de Felipe II, también se le atribuye el haber llevado estos códices a España. Los códices Madrid después pasaron varias veces a distintas manos, entre ellas las de Juan de la Espina y el Príncipe de Gales. Llegaron finalmente al Palacio del Escorial y posteriormente a la Biblioteca Real en 1712, ahora Biblioteca Nacional de España. Al ser movida la biblioteca en cuatro ocasiones, un error de clasificación ocasionó que los códices permanecieran casi en total desconocimiento por 150 años, apareciendo hasta 1964. 540 páginas conforman los ocho volúmenes que se clasifican en Madrid I y Madrid II; tratan mayormente de cuestiones de Mecánica e Ingeniería de las Artes Constructivas para la guerra, y también contiene algunas notas gramaticales. Se piensa que estos códices representan alrededor del 15 % del material que se conoce de Leonardo.



A Jules Picus, medievalista norteamericano, se le atribuye el desafortunado embrollo de la autoría del descubrimiento de los manuscritos en 1967 en la Biblioteca Nacional de España. Realmente fue Ramón Paz y Remolar, trabajador de la biblioteca en la sección de manuscritos, quien tuvo la fortuna de encontrarlos gracias a su curiosidad, pero él no procuró nunca ni fama ni fortuna, por lo que Picus se atribuyó este descubrimiento dada la ambición que poseía. Este peculiar lío casi terminó en un conflicto internacional entre España y Estados Unidos.



Codex Forster

Es llamado así porque fue John Forster quien los donó en 1876 al Museo Victoria y Alberto en Londres, Inglaterra. Este compendio Leonardino, como todos los demás, está compuesto por un sinnúmero de temas, reunidos en tres tomos o codex, Forster I, II y III, que a su vez lo integran cinco cuadernos. No hay relación lógica en la manera en que fueron compendiados, y solo el Codex Forster I cuenta con pocas indicaciones del mismo Leonardo, una de ellas es el "Libro titolato de trasformatione", y lo data en julio de 1505.



Se puede rastrear nuevamente a Pompeo Leoni quien tuvo en sus manos este material. El código trata temas de Hidráulica, transporte y elevación del agua, de Geometría y la capacidad de las formas, la fabricación de una ballesta, un elemento mecánico de movimiento prolongado, y del acomodo de un grupo de personas a la mesa, lo que nos invita a pensar que quizás ya esbozaba Leonardo su celeberrimo fresco de La Última Cena.

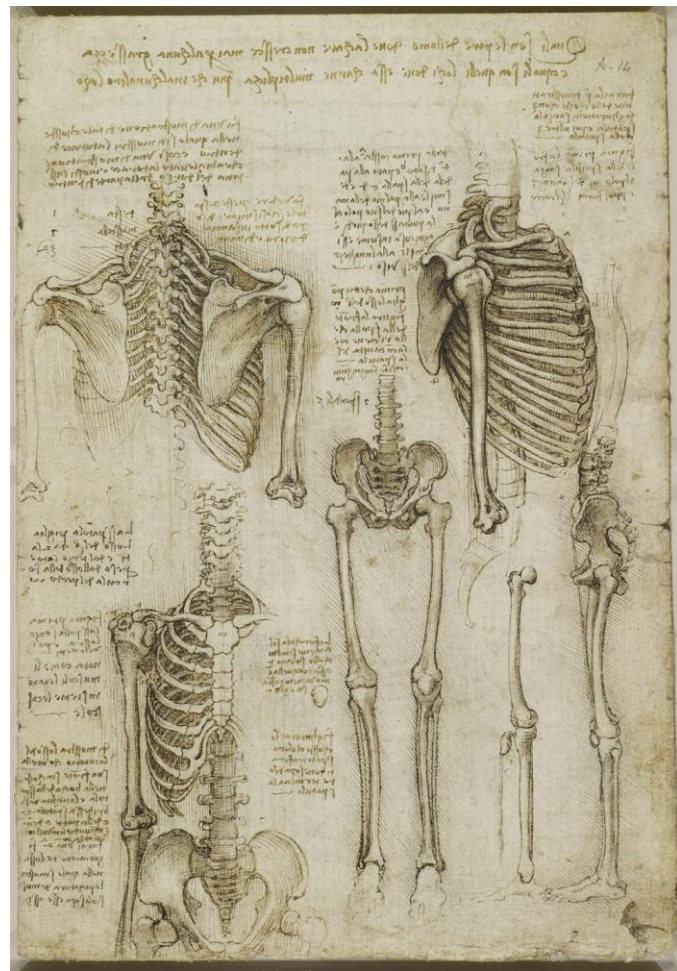


Codex Arundel

En este código pueden hallarse escritos e ilustraciones de Leonardo da Vinci correspondientes al periodo entre 1478 y 1518. El manuscrito probablemente fue adquirido en España alrededor de 1630 por Thomas Howard, segundo Conde de Arundel, quien da nombre a este documento. Se sabe que era ávido coleccionista y que ejercía la política también. Henry Howard, sexto Duque de Norfolk, mostró a la Royal Society el valioso documento en 1667, y poco después, en 1681, fue catalogado por vez primera por William Perry. El material pertenece a la colección Arundel Manuscripts y se localiza en la Biblioteca Británica. El mismo Leonardo apunta sobre el código lo siguiente: "Una colección sin orden, extraída de muchos documentos, que he copiado aquí, con la esperanza de organizarlos más tarde en su lugar de acuerdo con los temas que tratan". Consta de 283 hojas de distintos tamaños; en ellas hay muchos apuntes sobre el vuelo de las aves y mecánica. Desgraciadamente este código fue maltratado al cortar y mover el orden original previsto por Leonardo.

Colección de estudios Anatómicos

Han permanecido hasta nuestros días 150 páginas de los magníficos y minuciosos estudios anatómicos de Leonardo. Llegaron a Inglaterra en el siglo XVII, encuadradas en un álbum, y pasaron a formar parte de la Colección Real en el Castillo de Windsor donde aún permanecen.



Estos estudios son quizás los de mayor valor, y solo por esta obra podría ser reconocido como el gran científico que es. Realizó gran cantidad de disecciones del cuerpo humano y de animales. Muchos de estos trabajos los realizó en la mansión de los Melzi.

Le interesaban especialmente las aves dada su pasión por entender el vuelo. Leonardo abandonó Milán en 1513 y se fue a Roma. Ahí, en el Hospital del Santo Spirito, estuvo trabajando durante algún tiempo en la disección de cadáveres, pero esto llegó a oídos del papa, y este le pidió suspendiera tan macabra

labor. En 1900 fueron separados los folios del cuaderno original y estos publicados posteriormente.



Codex Urbina, Trattato della Pittura

Se encuentra en la Biblioteca del Vaticano. Contiene documentos que hablan de la relación entre la pintura, la ciencia y algunos temas filosóficos. Entre otros, está dirigido a

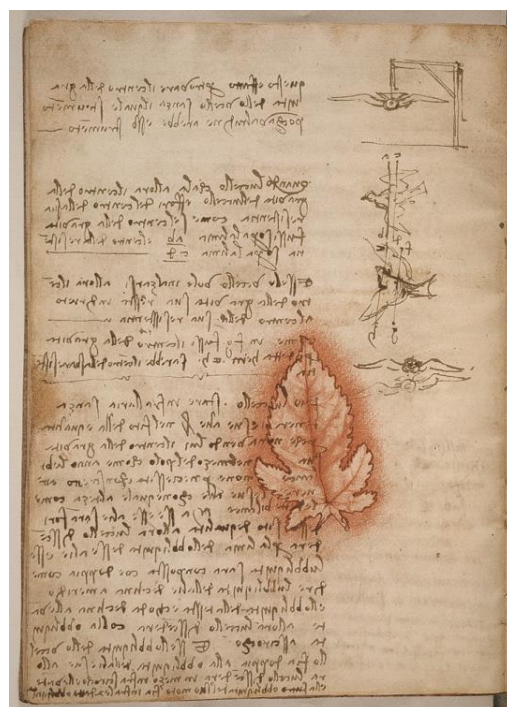
los jóvenes pintores, a quienes da indicaciones sobre cómo aprender y ejercer el oficio de la pintura.

En la visión de Leonardo son la pintura y el dibujo el principal instrumento para registrar el conocimiento, analizarlo y obtener resultados de ello.

Este tratado, como ya se mencionó, se debe a la recopilación que hizo Francesco Melzi al revisar todos los escritos del maestro.

Códice del vuelo de los pájaros

El tema del vuelo apasionó siempre a da Vinci. Su gran curiosidad y asombro lo llevaron a trabajar arduamente en este tema. Se conocen 17 folios de 21 que eran originalmente, y que están bajo la tutela del Museo Real de Torino, probablemente realizados entre 1505 y 1506. Fue un trabajo al que dedicó todo su empeño realizando rigurosos estudios de mecánica del movimiento y sustentabilidad en el aire, aprovechando la energía del movimiento de las corrientes. Estudió la ascensión de las aves aprovechando las corrientes cálidas, y cómo ejercen el vuelo desde el despegue. Seguramente todo esto lo llevo a concebir sus muy famosas máquinas voladoras, incluido el tornillo o helicóptero.



Leonardo cocinero

Se habla de las capacidades de Leonardo para la cocina. Cuando estuvo en Milán en la corte de los Sforza donde fungía como organizador de las fiestas y banquetes ejercía este oficio entre otros encargos. Se dice también de él que era vegetariano, pues su amor y respeto por los animales le impedía consumirlos. Se sabe que en Florencia mantuvo una taberna con su amigo Sandro Boticelli, pero esta no tuvo éxito, por lo cual muy pronto cerraron. Corre ahora un popular libro conocido en español como "Notas de cocina de Leonardo da Vinci", el cual ha sido tomado en serio por muchas personas. Sin embargo, se trata de una broma que presentaron Shelag y Jonathan Routh en el equivalente al día de los Santos Inocentes en Inglaterra, "The fool's day", basado el libro aparentemente en una copia a máquina de escribir del Codex Romannoff que supuestamente se alojaba en el Museo del Hermitage en Leningrado. La verdad es que no existe ni el escrito de Leonardo ni el Codex Romannoff.

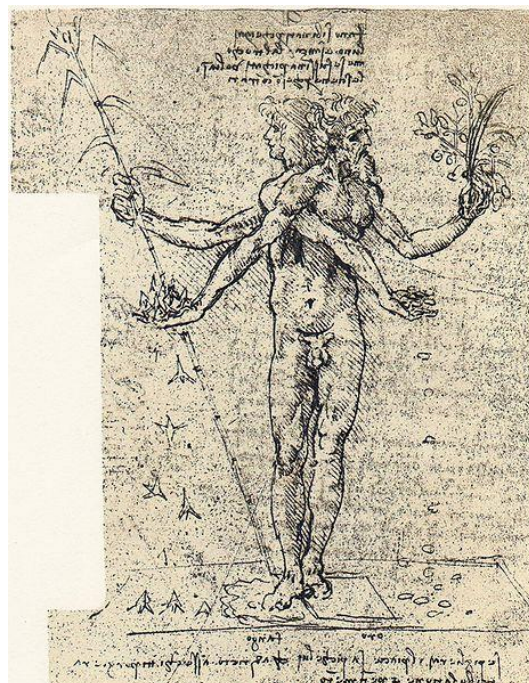


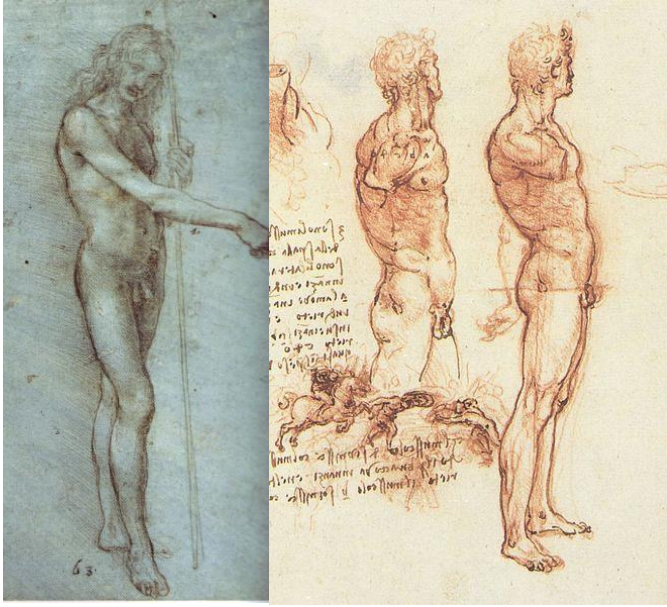
Leonardo músico

Poco conocida es la faceta de da Vinci como músico. Es sabido que tenía una bella voz de barítono, gran capacidad histriónica y facilidad para tocar varios instrumentos. Dedicó su conocimiento sobre física y acústica a la invención de varios instrumentos. Entre otros fabricó una especie de Laud de plata con forma de cráneo de caballo, que además de tener cuerdas en el exterior, también tenía otras en el interior, es decir, conocía perfectamente el fenómeno de la resonancia y los armónicos que enriquecen el resultado final de la emisión del sonido. Conocía perfectamente la relación entre el largo y ancho de los tubos para órgano y los materiales para lograr sonidos de gran afinación y pureza. Realizó apuntes para un órgano de agua, también se conoce el invento de una viola de teclado que funcionaba con varios cilindros rotatorios forrados con crines de caballo que frotaban las cuerdas. Slawomir Zubrzycky, pianista polaco, construyó recientemente este instrumento con sorprendentes resultados.

Leonardo, vida íntima y sentimental

Quizás la parte más difícil de conocer de Leonardo da Vinci es su vida íntima y sus relaciones. Mucho se ha especulado sobre ello, especialmente sobre su preferencia sexual.





Nos dice Giorgio Vasari, su más cercano biógrafo: “Quiso la naturaleza favorecerlo tanto que, allá donde dirigiera su pensamiento, su cerebro y su ánimo mostraban tanta divinidad que no tuvo rival alguno en perfección, buena disposición, vivacidad, bondad, belleza y gracia”. La belleza de Leonardo se muestra en múltiples de sus retratos, incluidos algunos del mismo Verrocchio. Esto nos lleva a pensar que le habría sido realmente sencillo el entablar relaciones con quien él quisiera. Sin embargo, se le conocen dos relaciones que marcaron su vida afectiva: las que mantuvo con Salai y con Francesco Melzi, caracterizada la primera por arrebatos, robos y picardías constantes para quien le dio abrigo y enseñanza; la segunda de profunda intelectualidad y confianza, y a quien hereda su más grande tesoro.

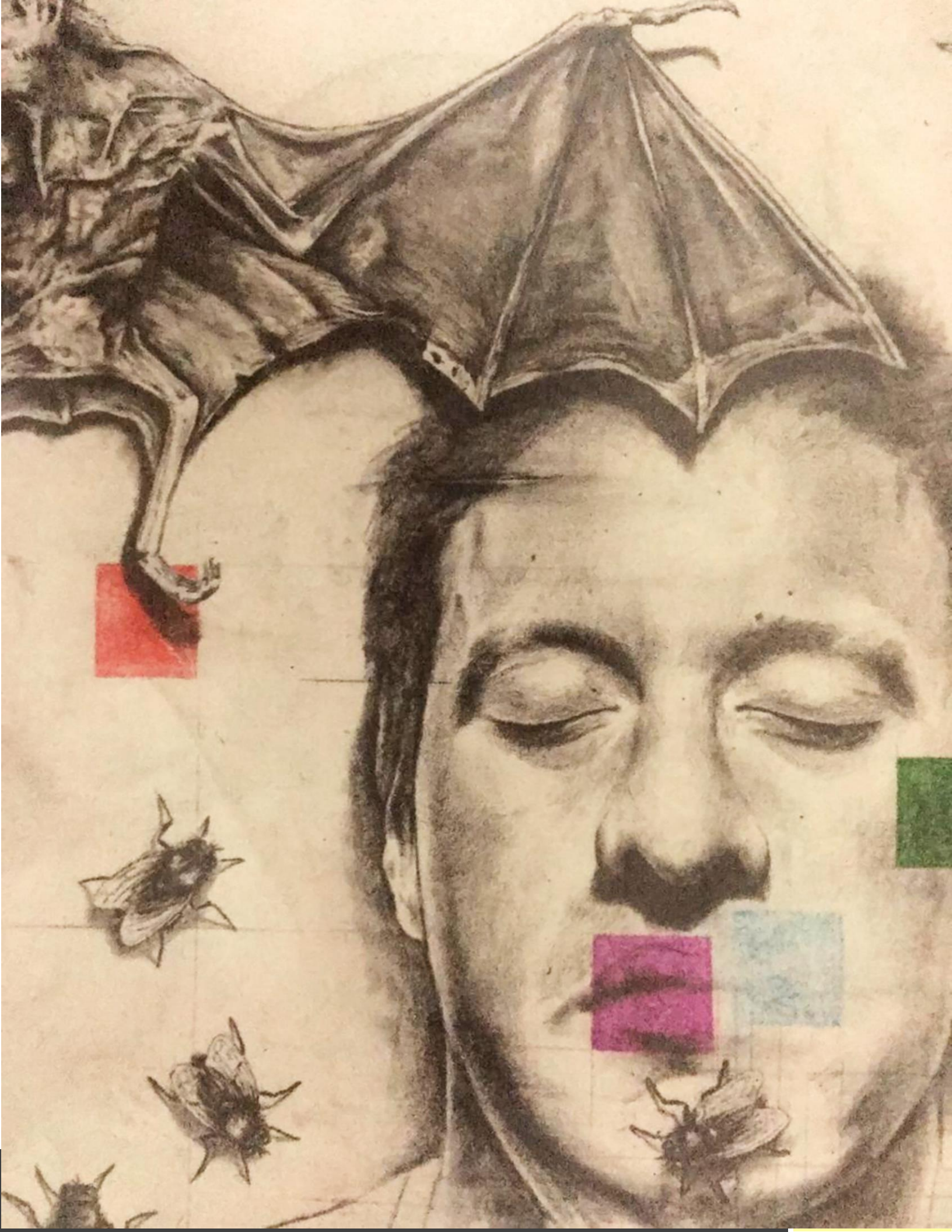
El día 8 de abril de 1476 en Florencia una denuncia contra Jacopo Saltarelli depositada en el llamado “Tamburo” involucra a Leonardo y a otros personajes algunos de ellos de noble origen. Se acusaba a Jacopo de mantener tratos carnales con distintos clientes. Estas acusaciones eran frecuentes, tanto que a Florencia se le conocía como una ciudad permisiva, por lo que a los que ejercían la sodomía se les conocía como florentinos.



Francesco Melzi

La denuncia fue llevada por la corte “Ufficiali di Notte”. Leonardo da Vinci y el joven Leonardo Tornabuoni de noble familia fueron exonerados, pero con la encomienda de no ser presentados nuevamente. Aunque se sabe de un segundo juicio en junio de ese mismo año que llevó a Leonardo ante la corte nuevamente con el mismo resultado. Se dice que, a raíz de estos eventos, el maestro prefirió llevar una vida de castidad, aunque siempre se le vio rodeado de jóvenes y bellos aprendices.

Nunca se casó ni se le conocieron amantes mujeres.





Pasado, presente y futuro de las celdas solares de Perovskita

Denisse Barreiro-Argüelles y Diego Solís-Ibarra

Instituto de Investigaciones en Materiales,
Universidad Nacional Autónoma de México,
Cd Universitaria, CP 70360, Coyoacán 04510, México, CDMX

e-mail: diego.solis@unam.mx

Twitter: [@PerovskitesMX](https://twitter.com/PerovskitesMX)

La tecnología fotovoltaica es una excelente alternativa de aprovechamiento de la energía inagotable que proviene del recurso solar, por lo que el interés hacia la misma ha incrementado las investigaciones sobre nuevos materiales que puedan ser implementados en esta tecnología.

La creciente demanda de energía en el mundo es cubierta en más del 80 % mediante la quema de combustibles fósiles, y representan la principal fuente de emisiones de CO₂ lo cual genera un incremento en la temperatura promedio global [1]. En este contexto, las tecnologías de energías renovables abren un camino viable para reducir las emisiones y controlar el calentamiento global.

En 2009 se utilizó por primera vez una perovskita como sensibilizador en las denominadas “celdas solares sensibilizadas por colorantes” (o DSSC, por sus siglas en inglés), dando inicio a una nueva generación en dispositivos fotovoltaicos con un nuevo y prometedor material como absorbente de luz. Rápidamente, sus propiedades ópticas y electrónicas empezaron a ser explotadas para la fabricación de celdas solares, dando como resultado un crecimiento de la eficiencia de conversión de energía, de 3.8 % a 25.2 %, comparable con la eficiencia de celdas solares comerciales basadas en silicio (26.1 %); y superando la eficiencia de otras tecnologías emergentes (Figura 1) [2]. Las celdas solares de perovskita presentan importantes ventajas sobre las de silicio, ya que su fabricación no requiere altas temperaturas y es posible fabricar dispositivos de manera “sencilla”, haciendo películas delgadas con cantidades muy pequeñas de material ($\sim 4 \text{ g}_{\text{perovskita}}/\text{m}^2$ vs $\sim 466 \text{ g}_{\text{silicio}}/\text{m}^2$) [3,4], disminuyendo así, de manera significativa, los costos de fabricación, el peso de las celdas solares, y en consecuencia, el precio en el mercado.

Las perovskitas son materiales que tienen una estructura cristalina semejante a la del CaTiO₃, es decir, su fórmula general es ABX₃, donde A y B son cationes metálicos y X es un anión (Figura 2). Cationes como el rubidio, cesio, metilamonio, formamidinio y butilamonio en A; estaño y plomo, en B, y aniones como el bromo o yodo en X, pueden dar lugar a una gran variedad de perovskitas de interés dentro del campo de la fotovoltaica.

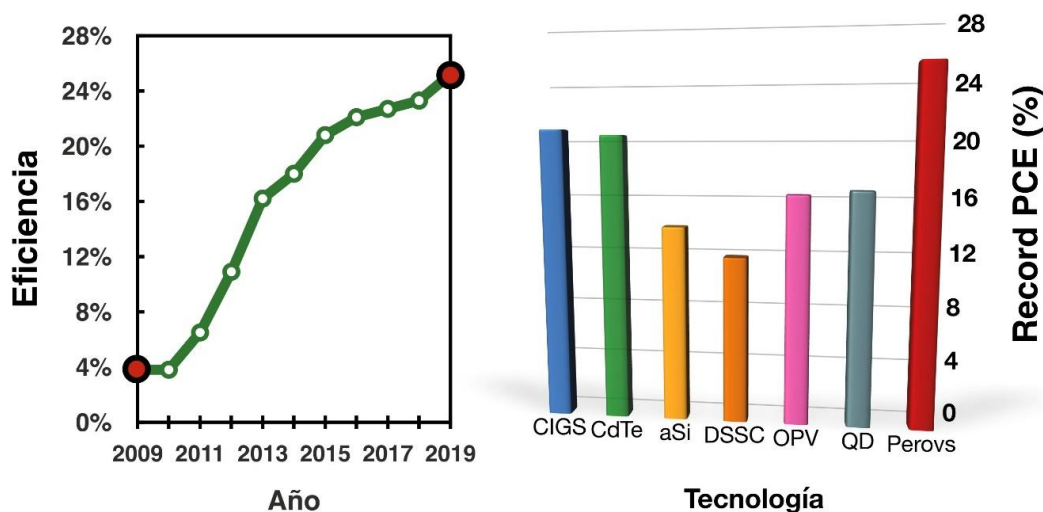


Figura 1. Izquierda: evolución de la eficiencia energética de celdas solares de perovskita como función del tiempo. **Derecha:** comparación de la eficiencia récord de tecnologías emergentes y perovskita. Nomenclatura: CIGS= selenuro de cobre, indio y galio; aSi=silicio amorfo; DSSC= Celdas solares sensibilizadas por colorante; OPV= celdas solares orgánicas, QD= celdas solares de puntos cuánticos (quantum dots), Perovs=Perovskita.

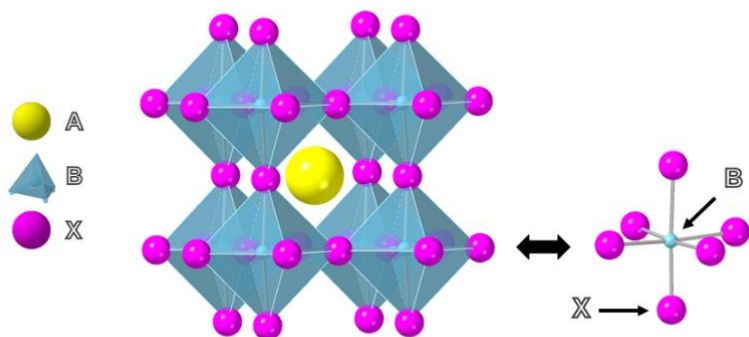


Figura 2. Estructura cristalina tipo perovskita con fórmula general ABX_3

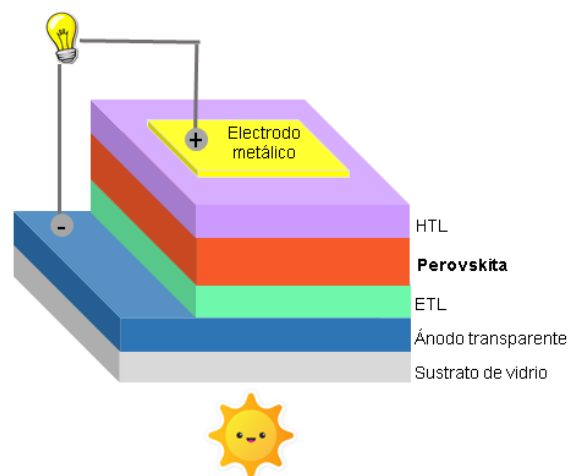


Figura 3. Esquema de arquitectura planar “n-i-p” de una celda solar de perovskita

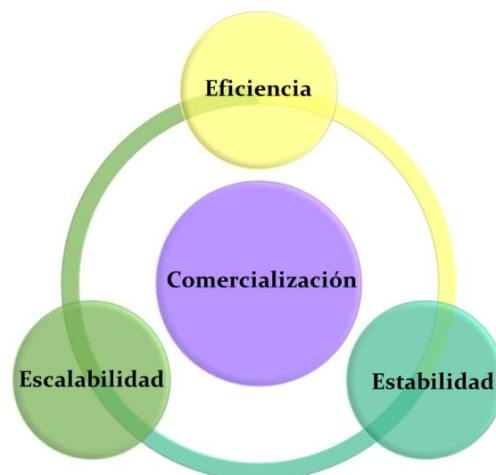
Las celdas solares de perovskita se fabrican mediante la incorporación sobre sustratos transparentes de distintas películas delgadas que funcionan como absorbentes de luz (en la llamada, capa activa) y como transportadores de cargas libres (es decir, electrones y huecos).

La función de la capa activa es la absorción de los fotones y la generación de los excitones (pares electrón-hueco). Debido a que la energía de enlace de estos excitones es extremadamente baja en los materiales tipo perovskita, los excitones se separan fácilmente y forman cargas libres que son transportadas hacia los electrodos para generar una corriente. Esto se hace “ensadwichando” la capa de perovskita entre materiales que son selectivos a huecos o a electrones, llamadas capas transportadoras de huecos o electrones (HTL y ETL, respectivamente). En la figura 3 podemos ver un esquema general de una celda solar de perovskita.

Saliendo del laboratorio

Las perovskitas pronto se encontrarán en el mercado, o al menos así lo piensa la comunidad científica en el área, dado el rápido avance en sus investigaciones; pero para que eso suceda las celdas solares deben cumplir tres requisitos básicos: alta eficiencia de conversión de energía, estabilidad y tener la posibilidad de ser producidas en gran escala. Actualmente, es posible alcanzar uno, o quizá dos de estos requisitos de manera conjunta, sin embargo, lograr los tres requisitos simultáneamente es el reto a vencer. Además, es deseable que lo anterior se logre manteniendo un bajo costo y también una fácil producción.

A continuación, discutiremos los avances en cada una de estas áreas, el estado del arte y las perspectivas a corto plazo.



Eficiencia

La eficiencia de conversión de energía (PCE, por sus siglas en inglés) es el principal parámetro que nos indica el rendimiento de una celda solar. En la literatura existen abundantes reportes de celdas de perovskita con altas eficiencias ($> 20\%$). Sorprendentemente, dichas eficiencias han sido demostradas para una gran variedad de materiales y arquitecturas.

De hecho, parte importante de los logros obtenidos en dispositivos basados en perovskita se deben también a los estudios de las demás capas que las componen, ya sea innovando en nuevos materiales -o dopantes-, mejorando los procesos de depósito de los mismos o ambos. En consecuencia, dispositivos con estructura mesoporosa, es decir, cuando la capa de perovskita es sostenida/depositada sobre una capa mesoporosa de TiO_2 (o $m\text{-TiO}_2$) surgieron y hoy en día la $m\text{-TiO}_2$ es de las ETL más utilizadas. Por otro lado, existe la posibilidad de usar cationes como Li, Na, K y Rb para ser estudiados e incorporados en estructuras tipo perovskita. En años recientes se han reportado eficiencias cada vez mayores al mejorar las condiciones y tener mayor control del crecimiento de los cristales de perovskita en películas delgadas [5]. Muchos laboratorios de investigación dedican sus esfuerzos para superar los records reportados que se renuevan en muy poco tiempo.

En agosto de este año, el Laboratorio nacional de energías renovables del Departamento de energía de Estados Unidos, anunció la certificación de un nuevo record en la eficiencia de conversión de energía (PCE) para una celda solar de perovskita de 25.2% logrado por grupos de investigación del KRICT y MIT [2], resulta inevitable pensar que muy pronto se alcanzará y superará la PCE de las celdas solares de silicio cristalino (26.1%).

Escalabilidad

El record del mundo para un módulo solar de área (que es de $800\text{-}6500\text{ cm}^2$) le pertenece a *Panasonic*, con una eficiencia de 16.1% [6]; también, aprovechando las cualidades de los materiales, *Toshiba* desarrolló un módulo solar flexible, implementando un novedoso método de depósito (*meniscous film printing*) que mejora la uniformidad del espesor y uniformidad de los cristales de perovskita, logrando una PCE de 11.7% con una superficie de 703 cm^2 [7].

Es importante tener en cuenta que las eficiencias record antes mencionadas son alcanzadas en dispositivos de área muy pequeña ($< 0.1\text{ cm}^2$) y esto se debe a que, en gran parte de los estudios en el área, utilizan la técnica de depósito de películas delgadas de *spin coating*, que consiste en depositar sucesivamente disoluciones de los materiales precursores sobre un sustrato pequeño ($< 2\text{ cm} \times 2\text{ cm}$). Sin embargo esta técnica, que ha sido muy exitosa en áreas pequeñas, no permite obtener dispositivo en áreas grandes, pues la homogeneidad de las películas disminuye significativamente al aumentar el área y, en consecuencia, su eficiencia. Diversos estudios señalan que el rendimiento de los dispositivos es determinado por la “calidad” de la película de perovskita, que a su vez puede ser controlado por los procesos de fabricación. Esta calidad se refiere a la cristalinidad y uniformidad de los cristales de perovskita, así como a la morfología, rugosidad y homogeneidad de la película y sus interfaces con las demás películas que componen la celda solar. Siendo así, se requiere un mayor entendimiento y compresión de los procesos de nucleación y crecimiento durante la cristalización de la perovskita, así como el desarrollo de nuevos métodos que permitan obtener más y mejores películas de estos [9].

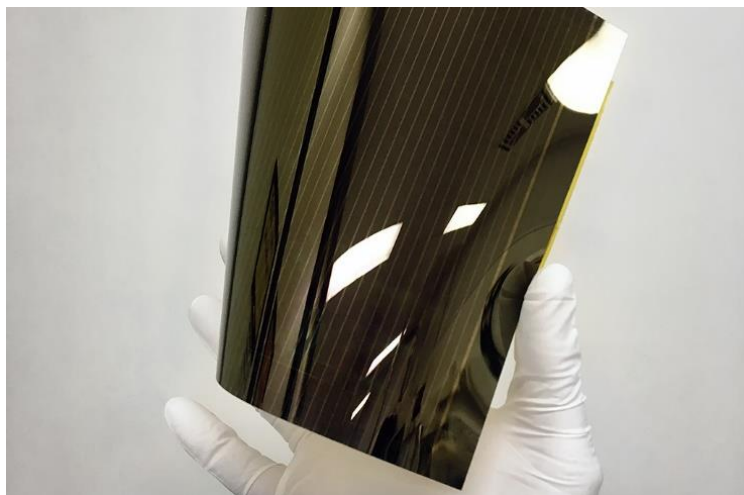


Figura 4. Mini-módulo solar de perovskita [8]

Parte de los esfuerzos se han enfocado en explorar técnicas adecuadas para la fabricación a mayor escala, entre las que se encuentran *spray coating*, *doctor blade*, *slot-die coating*, *brush painting*, entre otros [10-13]. A pesar de la diversidad de métodos, el escalamiento de los dispositivos resulta en la disminución de los parámetros fotovoltaicos, principalmente en la PCE, por ejemplo, en un minimódulo con un área de 36.1 cm^2 se obtiene una eficiencia de 15.7 % usando la técnica de *soft-cover deposition* [14,15].

Estabilidad

De igual importancia que la eficiencia y la escalabilidad es la estabilidad a largo plazo de las celdas solares en condiciones ambientales, misma que será un factor determinante para el desarrollo de esta tecnología. Esta representa una de las grandes barreras para la comercialización, debido a que los materiales utilizados como precursores de perovskita son sensibles al oxígeno, la humedad, la temperatura elevada y la radiación UV.

Se han estudiado y desarrollado métodos que puedan mejorar la estabilidad a largo plazo y proteger los materiales de los dispositivos. Dichas estrategias van desde ajustes a los componentes, síntesis de nuevas estructuras de perovskita 2D, tratamientos post-fabricación, encapsulación y modificaciones en la arquitectura de los dispositivos. Combinando algunas de estas estrategias se ha logrado obtener tiempos de vida para los dispositivos que van de minutos a meses [9,16]. La estabilidad de los dispositivos va más allá de la película de perovskita ya que, como mencionamos antes, el dispositivo está compuesto de diversas películas delgadas que ayudan a extraer las cargas para llegar a los electrodos, por lo que cada capa, e incluso los electrodos, contribuyen en las posibles rutas de degradación. En 2012 se reportó la primera celda de perovskita ($(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{PbI}_3$) en estado sólido, se logró un incremento de 6.5 % a 9.7 % de eficiencia, aún más importante, se obtuvo una estabilidad comprobada de 500 h en dispositivos sin encapsular guardados en aire y a temperatura ambiente, superando la estabilidad reportada para este material en celdas solares sensibilizadas por colorante [17], marcando un hito en la tecnología e incrementando la confianza en las celdas solares de perovskita. Actualmente se

han alcanzado estabilidades hasta 10 veces mayores, por ejemplo, a partir de una mezcla de cationes (formamidinio, butilamonio, Cs) y formando una heteroestructura 2D-3D, se ha logrado retener el 80 % de la eficiencia inicial en dispositivos encapsulados, con una estabilidad operacional de 3 880 h [18]. Recientemente, se reportó la estabilidad a largo plazo de 5 000 h, reteniendo el 90 % de su eficiencia inicial, en celdas solares expuestas a condiciones del 70 % de humedad relativa, esto se consiguió pasivando las fronteras de grano de la perovskita, evitando así la infiltración de moléculas de agua [19]. Sin duda alguna los resultados favorables en cuanto a estabilidad confirman que hay un buen avance en el área, sin embargo, queda mucho por implementar a nivel laboratorio para lograr alcanzar las características que permitan la comercialización potencial de este tipo de celdas.

En conclusión, a diez años desde el primer reporte del uso de perovskitas en celdas solares, el futuro para esta tecnología es prometedor, los avances que se han logrado permiten pensar que es posible compaginar las altas *eficiencias* con la *estabilidad* y la *escalabilidad*, con todo y sus limitaciones. Las investigaciones en proceso hacen de las perovskitas, materiales muy interesantes para su aplicación en fotovoltaica con perspectivas para diferentes nichos de mercado. También, las celdas solares tandem (combinando la tecnología basada en silicio y perovskita) han demostrado tener el potencial necesario para llegar muy pronto a verse ya en aplicaciones reales. Hoy en día ya se han realizado pruebas piloto de captación de energía con paneles solares de perovskita colocados en edificios, ¡estamos más cerca de la comercialización! Esperamos muy pronto tener nuevos descubrimientos en las investigaciones en curso, además de romper records en eficiencia y estabilidad para celdas solares de área cada vez mayor.



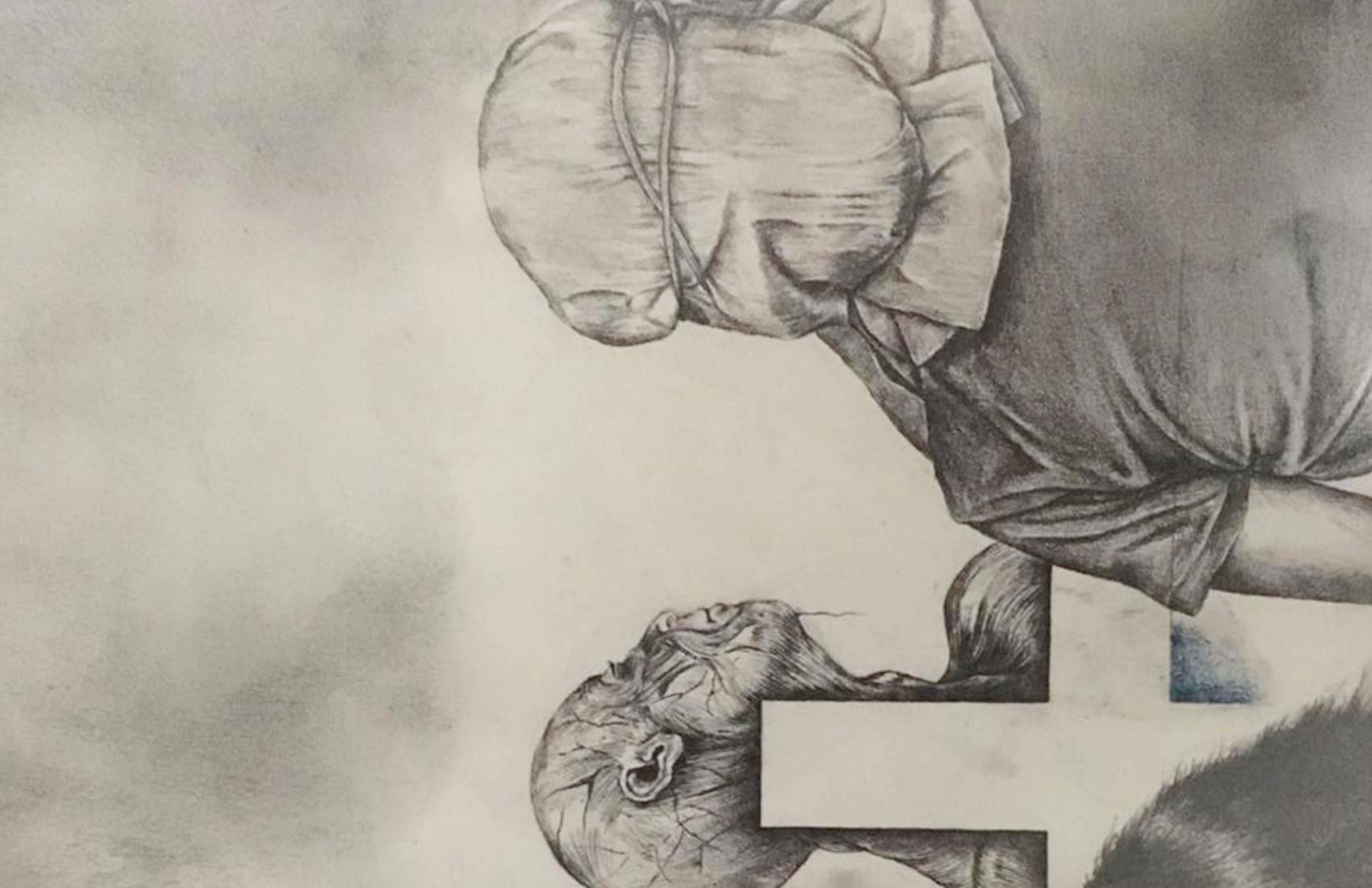
Figura 5. Primer prueba de aplicación de celdas solares de perovskita en edificios por Skanska y Saule technologies [20,21]

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a Astron Rigel Martínez Rosas por su valiosa crítica. Agradecemos el financiamiento de PAPIIT IA202418 y CONACYT CB-A1-S-8729. D. Barreiro-Argüelles agradece la beca posdoctoral del Fondo sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética.

Referencias

- [1] International Energy Agency (IEA), <https://www.iea.org/weo2018> (Fecha de consulta: 20-09-2019).
- [2] The National Renewable Energy Laboratory, Best Research-cell Efficiency Chart, <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html> (Fecha de consulta: 20-10-2019).
- [3] Stoumpos C. C., Malliakas C. D., Kanatzidis M.G., *Inorg. Chem.* **2013**, 52, 9019.
- [4] PV Lighthouse, Wafer calculator <https://www2.pvlighthouse.com.au/calculators/wafer%20calculator/wafer%20calculator.aspx> (Fecha de consulta 15-10-2019).
- [5] Yang W. S., Park B.W., Jung E. H., Jeon N. J., Kim Y. C., Lee D. U., Shin S. S., Seo J., Kim E. K., Noh J. H., Seok S. I., *Science*, **2017**, 356, 1376.
- [6] The National Renewable Energy Laboratory, Champion Module Efficiency, <https://www.nrel.gov/pv/module-efficiency.html> (Fecha de consulta: 22-10-19).
- [7] Noticias Toshiba, 18 de Junio 2018, https://www.toshiba.co.jp/rdc/rd/detail_e/e1806_03.html (Fecha de consulta: 25-11-2019).
- [8] Modulo solar de perovskita, Solliance <https://www.solliance.eu/2019/official-release-of-european-perovskite-pv-white-paper-by-epki/> (Fecha de consulta: 22-10-19).
- [9] Huang F., Li M., Siffalovic P., Cao G. Tian J., *Energy Environ. Sci.* **12**, 518 (2019).
- [10] Deng Y., Zheng X., Bai Y., Wang Q., Zhao J., Huang J., *Nat. Energy*, **2018**, 3, 560.
- [11] Heo J. H., Lee M. H., Jang M. H., Im S. H., *J. Mater. Chem. A*, **2016**, 4, 17636.
- [12] Di Giacomo F., Shanmugam S., Fledderus H., Bruijnaers B. J., Verhees W. J. H., Dorenkamper M. S., Veenstra S. C., Qiu W., Gehlhaar R., Merckx T., Aernouts T., Andriessen R., Galagan Y., *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **2018**, 181, 53.
- [13] Lee J.-W., Na S.-I., Kim S.-S., *J. Power Sources*, **2017**, 339, 33.
- [14] H. Chen, F. Ye, W. Tang, J. He, M. Yin, Y. Wang, F. Xie, E. Bi, X. Yang and M. Grätzel, *Nature*, **2017**, 550, 92.
- [15] Green M. A., Hishikawa Y., Dunlop E. D., Levi d. H., Hohl-Ebinger J., Yoshita M., Ho-Baillie A. W. Y., *Prog. Photov. Res Appl.*, **2019**, 27, 3.
- [16] Roghabadi F. A., Alidaei M., Mousavi S. M., Ashiari T., Tehrani A. S., Ahmadi V., Sadrameli S. M., *J. Mater. Chem. A*, **2019**, 7, 5898.
- [17] Kim H. S., Lee C.R., Im J. H., Lee k. B., Moehl T., Marchioro A., Moon S. J., Humphry -Baker R., Yum J.H., Moser J. E., Gratzel M., Park N. G., *Sci. Rep.*, **2012**, 2, 591.
- [18] Wang Z., Lin Q., Chmiel P. F., Sakai N., Herz L. M., Snaith H. J., *Nat. Energy*, **2017**, 2, 17135.
- [19] Kim W., Park J. B., Kim H., Kim K., Park J., Cho S., Lee H., Pak Y., Jung G. Y., *J. Mater. Chem. A*, **2019**, 7, 20832.
- [20] Saule technologies <https://sauletech.com/press/> (Fecha de consulta: 13-11-19).
- [21] Skanska, <https://www.skanska.pl/en-us/about-skanska/media/press-releases/227820/Skanska-and-Saule-Technologies-commence-revolutionary-solar-panels-tests> (Fecha de consulta: 13-11-19).



Tecnología renovable: su ubicación en tiempo real

Marisol González Garnica^{a*}, A. Galdámez^b,
G. Santana^b y A. Dutt^b

^aUniversidad Tecnológica de Tulancingo,
Av. Ahuehuetitla 301, Reforma la Presa, C.P. 43642
Tulancingo de Bravo, Hgo

^b Instituto de Investigaciones en Materiales,
Universidad Nacional Autónoma de México,
Cd Universitaria, CP 70360, Coyoacán 04510, México, CDMX

solmarnano@gmail.com

El panorama de la tecnología ha sido prometedor a lo largo de los años, permitiendo una mejora constante en la calidad de vida de la población, sin embargo, durante esta larga trayectoria de prosperidad y auge ha surgido una problemática energética ambiental mundial debido al descontrolado uso de diversas fuentes de energía asequibles, pero contaminantes. El crecimiento de la población mundial en el último siglo ha sido insólito: se estima que en el año de 1930 la población mundial era de 2 000 millones de personas, mientras que para el año de 1960 aumento a 3 000 millones. A partir de ese momento, en tan solo 39 años, en el año de 1999 la población se duplicó alcanzando los 6 000 millones de habitantes. Para finales de este año la población será aproximadamente de 7 700 millones y se estima que para el año 2030 seremos más de 8 000 millones de seres humanos en el planeta [1].

OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Figura 1. Objetivos de desarrollo sostenible propuestos por la ONU

El crecimiento poblacional está estrechamente relacionado con el crecimiento en la demanda de energía mundial y con el incremento de emisiones contaminantes debido a las fuentes de energía modernas, estas, entendidas como electricidad y carburantes; relación misma que da origen a la problemática antes mencionada.

Diferentes organizaciones, como la ONU, hacen esfuerzos por concientizar a la población y aprovechan su influencia en la sociedad para reducir el impacto que genera el incremento poblacional de demanda energética y de emisiones contaminantes. Esto se encuentra plasmado en el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, proponiendo “17 objetivos para cambiar a nuestro mundo (ODS)”; dentro de estos objetivos, el número 7 está dedicado a “Energía asequible y no contaminante”. La ONU basa la elaboración del séptimo objetivo en la misma problemática en la que se basa el artículo [2]. La ONU dice que “para alcanzar el ODS7 para 2030 es necesario invertir en fuentes de energía limpia, como la solar, eólica y termal, así como mejorar la productividad energética [2]”, para lo cual propone expandir la infraestructura y mejorar la tecnología, para así contar con energía limpia, misma tecnología a la que se hace referencia como tecnología renovable o tecnología ambiental.

La tecnología se encuentra ligada a la economía que posee cada país, pues mientras países emergentes como México, India, China, Brasil, entre otros, junto con los países menos desarrollados buscan la disponibilidad de fuentes de energía “modernas” (entendidas estas como electricidad y carburantes), países con economías más estables buscan la implementación de nuevas alternativas en energía aplicadas a tecnología renovable.

El término de tecnología renovable hace referencia a la tecnología ambiental. Para poder comprender dichos términos es importante reconocer lo que es esta tecnología: tal como se muestra en la Imagen 2, la palabra tecnología tiene tres niveles de significado [3].

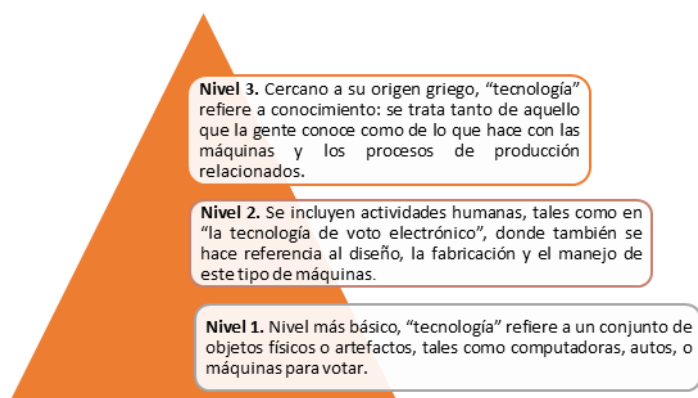


Figura 3. Niveles de significado de Tecnología [3]

La definición de tecnología puede verse en torno a estos niveles, podría usarse la palabra tecnología desde la materialidad, o bien desde una forma instrumental o funcional, aunque también podría ser desde su finalidad y preeminencia al hombre como su hacedor. Incluir en una sola definición las tres perspectivas sería bastante debatible, así que lo más común es hacer uso del nivel que satisfaga los propósitos del usuario. Ahora bien, a sabiendas de lo que es la tecnología, es posible definir a la *tecnología renovable* y *tecnología ambiental*.

La tecnología ambiental, tecnología verde o tecnología limpia es aquella tecnología que se utiliza sin dañar el medio ambiente, la aplicación de la ciencia ambiental para conservar el medio ambiente y los recursos naturales, para frenar los impactos negativos de la involucración humana.

El desarrollo sostenible es el núcleo de las tecnologías ambientales. Cuando se aplica el desarrollo sostenible como solución para asuntos ambientales, las soluciones tienen que ser socialmente equitativas, económicamente viables y ambientalmente seguras [4].

Siendo rigurosos, es posible decir que la tecnología renovable es la aplicación de la tecnología ambiental, solo que con el fin específico de recurrir a los recursos renovables naturales disponibles, que no afecten el equilibrio y se mantenga el desarrollo sostenible; o bien llevar a cabo tecnología ambiental con energía renovable. Por tanto, se corrobora que ambos términos para fines prácticos pueden considerarse sinónimos. En la Figura 3 se encuentran las tecnologías ambientales, algunas de éstas ayudan directamente a la conservación de energía, mientras que otras ayudan al ambiente, reduciendo la cantidad de desechos producidos por actividades humanas.

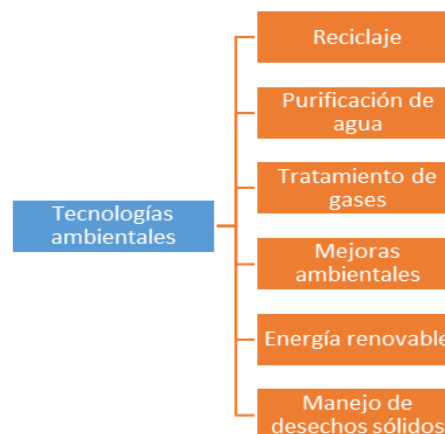


Figura 2. Tecnologías ambientales que mantienen el desarrollo sostenible [1]

La conservación de la energía sin duda se está dando mediante la generación de energía con fuentes renovables aplicadas a tecnologías renovables tales como:

- **Parques eólicos:** conjunto de aerogeneradores que se ha popularizado en los últimos años debido a que la energía eólica se considera una “energía limpia” (respetuosa con el medioambiente), ya que no requiere una combustión que produzca residuos contaminantes ni destruir recursos naturales. No obstante, la cantidad de energía producida de origen eólico es aún una mínima parte de la que se consume por los países desarrollados y del potencial que representa [5].

- **Centrales solares fotovoltaicas:** los paneles solares fotovoltaicos transforman la radiación solar directamente en electricidad. Las plantas o centrales solares fotovoltaicas están constituidas por una serie de paneles fotovoltaicos conectados en serie y/o en paralelo, que vierten la electricidad producida a la red eléctrica. En la actualidad, en casi toda Europa, se está fomentando la construcción de este tipo de centrales a través de incentivos económicos. Sin embargo, los procesos de fabricación de estos paneles de silicio son caros y contaminantes [6].
- **Centrales solares térmicas de alta temperatura:** utilizan el calor de la radiación solar para calentar un fluido y producir vapor para mover un generador, como en una central térmica convencional, pero en la que el combustible es el sol [7].
- **Centrales marinas:** dentro de las centrales que se instalan en el mar podemos distinguir a las centrales maremotrices, las de olas y las que aprovechan las corrientes marinas. Las centrales maremotrices aprovechan los cambios de altura de las mareas para mover las turbinas, mientras que las de olas utilizan el movimiento de estas con el mismo fin [5].
- **Centrales geotérmicas:** la energía geotérmica es la que procede del calor interno de la Tierra. Existe una gran diferencia entre la temperatura de la superficie terrestre y la de su interior. El calor concentrado en el interior tiende a escapar de forma natural como ocurre en las fuentes hidrotermales o en los géiseres. También se puede extraer a partir de perforaciones en yacimientos que están localizados en el subsuelo [5].

- **Centrales minihidráulicas:** se trata de las centrales hidráulicas con potencia de 10 MW o menos. En el aspecto medioambiental todas ellas poseen las ventajas de las energías renovables (energía limpia, autóctona e imperecedera), aunque también presentan una serie de posibles inconvenientes, según el tipo de renovable de que se trate [8].

La tecnología renovable tiene más que ofrecer que simplemente ser limpia, verde y asequible, por mencionar algunas de sus ventajas. Este sector en crecimiento crea empleos, hace que las redes eléctricas sean más resistentes, expande el acceso a la energía renovable en los países en desarrollo y ayuda a reducir las facturas de energía. Todos esos factores han contribuido a un renacimiento de las tecnologías renovables en los últimos años, con las aplicaciones de la energía eólica, solar y geotérmica estableciendo nuevos récords para la generación de tecnología.

Bloomberg NEF (BNEF) es una corporación que dispone de datos, noticias, análisis y apreciaciones independientes sobre los cambios que ocurren en los mercados de energía actuales. Ofrece una amplia variedad de servicios por suscripción, incluyendo noticias, la mayor base de datos del sector de energías renovables.

La mención de dicha corporación es debida a que BNEF ha compartido una parte del panorama actual de las tecnologías renovables, información que nos permite reconocer “la ubicación en tiempo real” haciendo referencia con esto al año en curso 2019. BNEF menciona que la primera mitad del 2019 se vio una desaceleración del 39 % en la inversión en

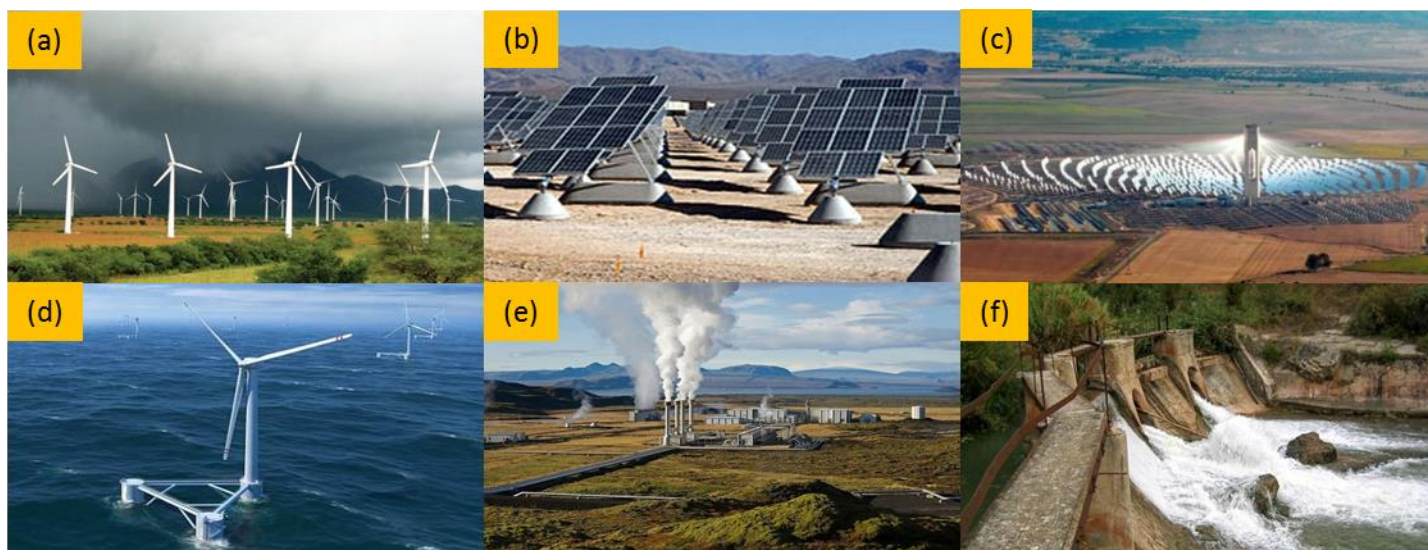


Figura 4. Generación de energía mediante el aprovechamiento de fuentes renovables. (a) Parques eólicos, (b) centrales solares fotovoltaicas, (c) centrales solares de alta temperatura, (d) centrales marinas, (e) centrales geotérmicas y (f) centrales minihidráulicas.

energía renovable en el mercado más grande del mundo, China (el cual representa un 23 % de la inversión global en energías renovables), a \$28.8 mil millones (USD), la cifra más baja para cualquier período de medio año desde 2013 [10].

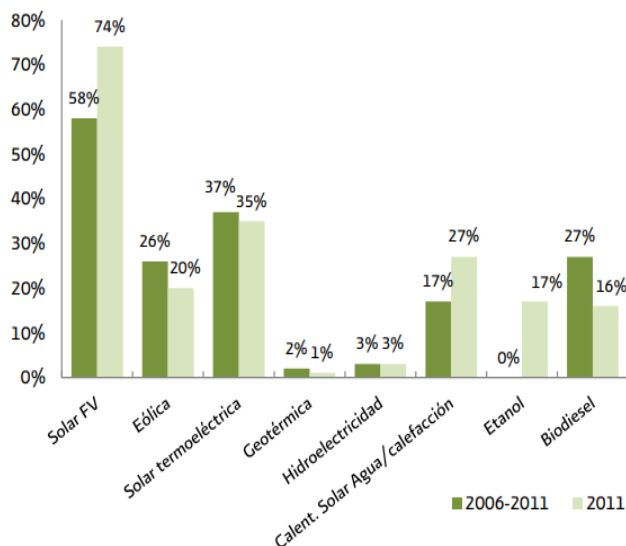


Figura 5. Tasa de la capacidad global de producción de energía renovable 2006-2011 (%) [9]

Otro punto destacado de la inversión mundial en energía limpia en 2019 fue el financiamiento de proyectos multimillonarios en dos mercados relativamente nuevos: un complejo solar térmico y fotovoltaico en Dubái, a 950MW y \$4.2 mil millones (USD), y dos conjuntos eólicos marinos en el mar frente a Taiwán, a 640 MW y 900 MW y un costo combinado estimado de \$5.7 mil millones (USD) [10].

El acuerdo de Dubái a fines de marzo, para el proyecto Mohammed Bin Rashid Al Maktoum IV, es el mayor financiamiento jamás visto en el sector solar. Implica \$2.6 mil millones (USD) de deuda de 10 bancos chinos, del Golfo y occidentales, más \$1.6 mil millones (USD) de capital de Dubai Electricity and Water Authority, el desarrollador con sede en Arabia Saudita ACWA Power y socio de capital, Silk Road Fund de China [10].

Los dos proyectos eólicos marinos taiwaneses, Wpd Yunlin Yunneng y Orsted Greater Changhua, involucran a desarrolladores, inversores y bancos europeos, así como a actores locales. La actividad eólica marina está ampliando su

enfoque geográfico, desde el Mar del Norte de Europa y la costa de China, hacia nuevos mercados como Taiwán, la costa este de los Estados Unidos, India y Vietnam [10].

Las cifras de BNEF para la inversión en energía limpia en el primer semestre (1S ó 1H) de 2019 muestran fortunas mixtas para los principales mercados del mundo. Los "tres grandes", China, Estados Unidos y Europa, mostraron caídas; pero con Estados Unidos un modesto 6 % a \$23,6 mil millones (USD) y Europa un 4 % a \$22,2 mil millones (USD) en comparación con la cifra del 1S 2018, mucho menos que el retroceso del 39 % de China. Japón atrajo \$8.7 mil millones (USD) de inversión, un 3 % más que en el 1S 2018, e India \$5.9 mil millones, un 10 % más, mientras continuaba su impulso hacia su ambicioso objetivo de 175 GW de energía renovable para 2022. Brasil vio una inversión de \$1.4 mil millones (USD), un 19 % más [10].

Energía renovable



Figura 6. Alcances de BMEF en el sector de energía renovable

En Europa, España fue la estrella con \$3.7 mil millones (USD), un 23.5 % más que en el mismo período del año anterior, mientras que los Países Bajos redujeron su inversión en un 41 % con \$2.2 mil millones (USD), Alemania un 42 % con \$2.1 mil millones (USD), el Reino Unido un 35 % con \$2.5 mil millones (USD) y Francia bajó un 75 % a \$567 millones (USD). Suecia experimentó un salto de inversión del 212 % a \$2.5 mil millones (USD) y Ucrania del 60 % a \$1.7 mil millones (USD) [11].

Desglosando la inversión mundial en energía limpia [1] por tipo de transacción, la financiación de activos de proyectos de generación a escala de servicios públicos como parques eólicos y parques solares disminuyó un 24 % a \$85,6 mil millones (USD), debido en gran parte al factor de China. El financiamiento de sistemas solares a pequeña escala de menos de 1 MW aumentó un 32 % a \$23.7 mil millones (USD) en el primer semestre de este año.

La inversión en empresas especializadas en energía limpia a través de los mercados públicos fue un 37 % mayor, con \$5.6 mil millones (USD), ayudada por dos grandes recaudaciones de capital para los fabricantes de vehículos eléctricos: una emisión secundaria de \$863 millones (USD) para Tesla quien, en sus esfuerzos para respaldar sus productos automotrices y energéticos, fundó la gigafábrica: instalaciones diseñadas para reducir notablemente los costos de las celdas de batería. Al producir las celdas de manera interna, Tesla fabrica el volumen necesario de baterías para cumplir sus metas de producción y al mismo tiempo crea miles de empleos y una emisión convertible de \$650 millones (USD) para NIO con sede en China [11].

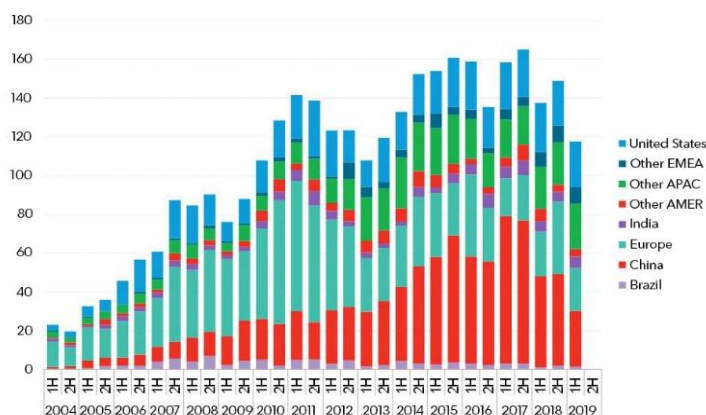


Figura 7. Inversión mundial en energía limpia de 2004 a 2019, en miles de millones de USD

El financiamiento de capital de riesgo y capital privado de las compañías de energía limpia en el 1S 2019 bajó un 2 % a \$4.7 mil millones (USD). Sin embargo, hubo tres acuerdos excepcionalmente grandes: \$1 mil millones (USD) cada uno para la compañía sueca de baterías Northvolt y el especialista en carga de baterías de vehículos eléctricos de EE.UU. Lucid Motors, y \$700 millones (USD) para otro jugador de vehículos eléctricos de EE.UU., Rivian Automotive [10].

A partir de las cifras expuestas por las fuentes anteriores se demuestra la relación que existe entre la implementación de tecnologías renovables y la estabilidad económica de cada país, en el gráfico de abajo se muestra el seguimiento de inversión que se encuentra encabezado por los países más desarrollados como lo son EE.UU. y China y otros más en vías de desarrollo.

Por ahora no existe un mapa actualizado de la implementación de tecnología renovable, el más reciente es el del 2016 que muestra la Figura 8, además de que muestra un top de países y energía renovable implementada.

Al final es posible considerar que las fuentes de energía renovables representan el futuro de la producción eléctrica y del desarrollo sostenible, generando tecnología renovable y asequible.

Es evidente que el mundo ha iniciado ya un periodo de transición energética en la que varios países están participando implementando políticas y modelos económicos que les permite ir cambiando su actual sistema energético a uno sustentable. Sin embargo, las energías renovables están creciendo, pero necesitan apoyo a largo plazo para asegurar su competitividad.

Las naciones con economías estables le apuestan a la tecnología renovable a sabiendas que es una de las claves para liderar al mundo y ofrecer un futuro prometedor a su población.



Figura 8. Top y mapa de países con energía renovable para Tecnología (2016) [9]

Referencias

- [1] C. Estrada. "Transición energética, energías renovables y energía solar de potencia," *Revista Mexicana de Física*, vol. 59, pp. 75-84, 2013.
- [2] Organización de las Naciones Unidas, "Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible" 2019. [Online]. Available: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>. [Accessed: 11-Nov-2019].
- [3] W. E. Bijker, "¿Cómo y porque es importante la tecnología?" vol. 11, no. 22, *Redes*, pp. 19–53, 2005.
- [4] R. Pascuas, A. Gonzales, and K. Perdomo, "Technology strategies for the advancement of environmental conservation" *Revista Científica*, no. 26, pp. 29–36, 2016.
- [5] J. Schallenberg et. al., "*Energías renovables y eficiencia energética*", ITC, 1st ed. 2008.
- [6] C. E. Mar, "La energía solar fotovoltaica en España" *Univ. Murcia*, vol. II, pp. 13–14, 1983.
- [7] I. General, "Energía termosolar 2018," *SENER*, vol. I, p. 83, 2018.
- [8] C. E. Marín and R. G. Marín, "El resurgimiento de la energía minihidráulica en España y su situación actual 1," *Revista de Geografía Norte Grande*, vol. I, pp. 115–143, 2017.
- [9] J. H. H. Flores, "Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026," *Secr. Energía*, vol. I, p. 156, 2012.
- [10] V. Henze, "La inversión mundial en energía limpia se desliza en el primer semestre de 2019, a pesar de los financiamientos de miles de millones de dólares para energía solar en Dubai y energía eólica marina en Taiwan," *Junio*, 2019. [Online]. Available: <https://about.bnef.com/blog/world-clean-energy-investment-slips-1h-2019-despite-billion-dollar-financings-solar-dubai-offshore-wind-taiwan/>.
- [11] I. Martinez et. al., "El impacto de las energías renovables en la economía con el horizonte 2030," *Greenpace*, vol. I, p. 94, 2014.

Sustratos plasmónicos nanoestructurados de aluminio y grafeno para su aplicación como sensores SERS

R. González-Campuzano, D. Mendoza

Instituto de Investigaciones en Materiales,
Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad
Universitaria, CP 70360, Coyoacán 04510, México, CDMX

naedra_9999@hotmail.com; doroteo@unam.mx

Aspectos Generales

Durante las últimas décadas, el campo de la nanotecnología ha despertado gran interés; esto es, en parte, debido al desarrollo de nuevos materiales y técnicas avanzadas de fabricación y caracterización. Las estructuras a escala nanométrica han sido objeto de estudio debido a los múltiples fenómenos únicos y novedosos que ocurren en esta escala, como el superparamagnetismo,¹ superconductividad,² confinamiento cuántico,³ plasmones,⁴ refracción negativa,⁵ entre otros.

La evidente importancia de la luz desempeña una función importante en nuestra vida cotidiana. Por ello, ha sido estudiada durante siglos. Sin embargo, no han dejado de aparecer fenómenos relacionados con la luz que dan lugar a nuevos campos de investigación. Uno de esos campos es la **plasmónica**, que es una nueva rama de la óptica que explora cómo los campos electromagnéticos pueden confinarse en dimensiones del orden de la longitud de onda o menores. Se basa en procesos de interacción entre la radiación electromagnética y los electrones de conducción en interfaces dieléctricas y metálicas o en pequeñas nanoestructuras metálicas (lo que conducen a campos ópticos intensos en dimensiones menores a la de longitud de onda).

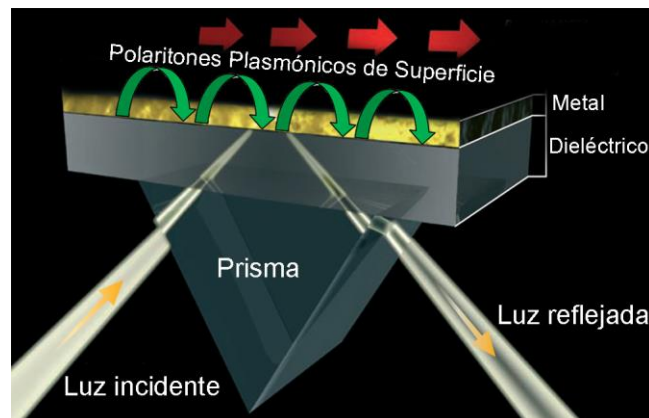


Figura 1. Configuración experimental Otto basada en Reflexión Total Atenuada (RTA) de la luz para la excitación de Polaritones Plasmónicos Superficiales (PPS) en una superficie metálica.⁶

Los metales tienen una propiedad óptica interesante: bajo ciertas condiciones, la luz puede viajar por las superficies metálicas sin alejarse de ellas.

A este tipo de ondas se les conocen como ondas evanescentes. Ésta es una propiedad muy peculiar, ya que en condiciones normales la luz viaja por las 3 dimensiones del espacio y no se confina con facilidad. La combinación de campos electromagnéticos y las oscilaciones de carga en la superficie definen lo que se conocen como Polaritones Plasmónicos Superficiales (PPS) (ver Figura 1), que son excitaciones viajeras que involucran electrones libres presentes en superficies metálicas. Este tipo de modos electromagnéticos pertenecen a un conjunto de oscilaciones de carga superficiales localizadas entre un material dieléctrico y un conductor (mejor conocidos como Resonancias Plasmónicas Superficiales o RPS).

Materiales plasmónicos

Por otro lado, las estructuras plasmónicas a escala nanométrica exhiben propiedades físicas únicas en comparación con estructuras a escala macroscópica. Estas propiedades han brindado nuevas oportunidades para posibles aplicaciones, como por ejemplo en guías de ondas,⁷ circuitos fotónicos con chips más rápidos y eficientes que los convencionales,^{8,9} sensores para la detección y caracterización de moléculas¹⁰, tratamientos contra el cáncer;¹¹ aunque también pueden ser de gran utilidad para resolver problemas ambientales tales como la purificación de agua (calentándola sin la necesidad de altos consumo de energía).¹² Los plasmones pueden producir *electrones calientes*, los cuales cuentan con suficiente energía para favorecer reacciones químicas tales como catálisis mediada por fotones (fotocatálisis), así como proporcionar soluciones a la producción de hidrógeno a costos más asequibles.¹³ Además, se usan para mejorar los procesos ópticos en, por ejemplo, Dispersión Raman Mejorada en Superficie (SERS, Surface Enhanced Raman Scattering por sus siglas en inglés)¹⁴ y Fluorescencia Mejorada en Superficie (SEF, Surface Enhanced Fluorescence por sus siglas en inglés),¹⁵ entre muchos otros.

Hasta hace poco, la investigación en plasmónica se había hecho predominantemente usando metales como el oro (Au) y la plata (Ag) debido a sus bajas pérdidas en la región del visible (Vis) e Infrarrojo Cercano (IRC), pero ambos materiales tienen sus propias limitaciones. En cambio, se ha demostrado que el aluminio (Al) es un buen material para aplicaciones plasmónicas en la región de longitud de onda del Ultravioleta-Visible-Infrarrojo Cercano (UV-Vis-IRC) debido a su alta frecuencia de plasma, bajo costo y gran abundancia natural en comparación con el Au y la Ag.

Aunque la plasmónica se encuentra en constante desarrollo, enfrenta la necesidad de encontrar nuevos materiales que soporten resonancias plasmónicas bien definidas en diferentes rangos de frecuencia. A medida que las técnicas de fabricación de estructuras plasmónicas son cada vez más rápidas y precisas, el rendimiento de estos sistemas plasmónicos se basa cada vez menos en la fabricación y más en las limitaciones fundamentales de los materiales que son utilizados para determinadas aplicaciones.

Debido a que los plasmones son oscilaciones colectivas de las cargas libres, se requieren materiales que tengan una gran cantidad de electrones libres. Estos e^- libres proporcionan la parte real negativa de la función dieléctrica, que es una propiedad esencial de cualquier material plasmónico.

Los metales están plagados de grandes pérdidas de energía, especialmente en los rangos espectrales del UV-Vis que surgen en parte de las transiciones interbanda. Incluso los metales con altas conductividades sufren grandes pérdidas de energía en frecuencias ópticas. Estas pérdidas son perjudiciales, lo que limita seriamente la viabilidad de muchas aplicaciones plasmónicas. Por ello, actualmente se buscan alternativas de materiales plasmónicos potenciales dependiendo del rango espectral de interés para diferentes aplicaciones.¹⁶

La polarización eléctrica puede ser descrita por la permitividad eléctrica o función dieléctrica del material $\varepsilon(\lambda) = \varepsilon_1(\lambda) + i\varepsilon_2(\lambda)$. La parte real de la función dieléctrica ($\varepsilon_1(\lambda)$) describe la fuerza de la polarización inducida por un campo eléctrico externo, mientras que la parte imaginaria ($\varepsilon_2(\lambda)$) describe las pérdidas encontradas en la polarización del material.

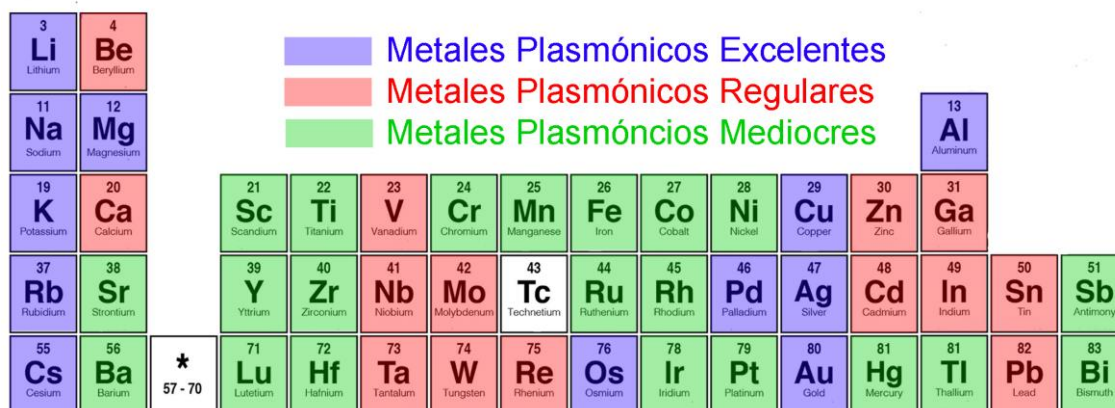


Figura 2. Clasificación de elementos de la tabla periódica que presentan propiedades plasmónicas, de acuerdo a características como su frecuencia de plasma, función dieléctrica, conductividad eléctrica, el número de electrones involucrados en las transiciones interbanda, entre otros.¹⁸

Materiales con bajas pérdidas están asociados con pequeños valores de $\varepsilon_2(\lambda)$. Los mecanismos de pérdida de energía en frecuencias en el rango del UV-Vis-IRC son a consecuencia de fenómenos relacionados con los electrones de conducción y electrones ligados (efectos interbanda).¹⁷ Las pérdidas por electrones de conducción surgen de las interacciones electrón-electrón y electrón fonón, y de la dispersión debida a defectos en la red o límites de grano.

Los materiales que son buenos candidatos para aplicaciones plasmónicas tienen $\varepsilon_1(\lambda)$ negativo. Este requisito se cumple en materiales con frecuencias de plasma ω_p superiores a las frecuencias de aplicación deseada. Debido a que los metales tienden a tener grandes frecuencias de plasma y alta conductividad eléctrica, tradicionalmente han sido los materiales de elección para la plasmónica. Entre los más utilizados se encuentran la Plata (Ag) y el Oro (Au), aunque también existen otros metales como el Litio (Li), Sodio (Na), Potasio (K), Cobre (Cu), Indio (In), Galio (Ga) y al poco estudiado Aluminio (Al) (ver Figura 2).

La Plata es una de las mejores opciones, en cuanto a rendimiento en longitudes de onda en el espectro visible, mientras que el Au es a menudo el metal de elección en longitudes de onda inferiores al IRC, con la ventaja de ser químicamente estable en muchos entornos. Sin embargo, el Au tiene grandes pérdidas de energía en el espectro visible para longitudes de onda por debajo de los 517 nm (~2.4 eV) debido a sus transiciones interbanda;¹⁹ mientras que para la Ag las pérdidas de energía se encuentran por debajo de los 318 nm (~3.9 eV),²⁰ con la desventaja de ser inestable en atmósferas con alto contenido de oxígeno, provocando que se oxide de manera gradual. De manera similar, el cobre está plagado de grandes pérdidas interbanda en la mayor parte del espectro visible.^{21,22}

El relativamente económico y manipulable aluminio (Al) abre más vías para la fabricación y producción en masa, en comparación con los metales nobles como la Ag y el Au:

- Este elemento se encuentra ampliamente disponible (es el tercer elemento más abundante en la corteza terrestre), un criterio de suma importancia cuando se analizan las aplicaciones relacionadas con la industria.
- Es un metal muy estable, debido a la formación de una capa de óxido nativo autolimitada (~3-4 nm)²³ que protege su superficie de la oxidación adicional y de los contaminantes en comparación con otros metales como la Ag.
- Exhibe buenas propiedades plasmónicas, que van desde el ultravioleta hasta el visible (ver Figura 3).

Por estas razones, el Al es un buen candidato para aplicaciones plasmónicas. No obstante, el Al presenta una transición interbanda alrededor de 826 nm (~1.5 eV).^{24,25} Las transiciones interbanda ocurren cuando los electrones saltan a niveles de energía vacíos más altos causados por la absorción de fotones incidentes. En los metales, cuando un electrón ligado absorbe un fotón incidente, puede pasar de un nivel de energía más bajo que la energía Fermi (o cerca de ella) al siguiente nivel de energía vacío más alto.

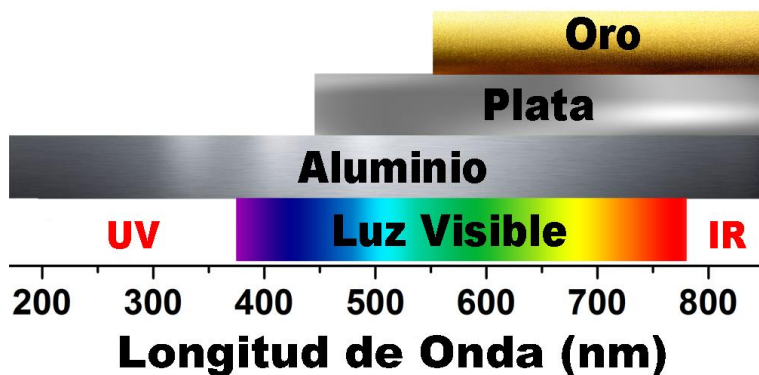


Figura 3. Comparación de intervalos de longitudes de onda en donde se puede obtener respuesta plasmónica para diferentes metales como oro (Au), plata (Ag) y aluminio (Al).

Aluminio para plasmónica

Mientras las investigaciones en la plasmónica continúan expandiéndose, se está optando por utilizar materiales más allá de los metales nobles para obtener propiedades interesantes. Es por ello que, la respuesta plasmónica en nanoestructuras de Al está comenzando a ser explorada significativamente.²⁶⁻³¹

El aluminio es un metal no ferromagnético que exhibe una alta densidad de electrones libres, con 3 electrones por átomo en su banda de conducción (contra 1 electrón por átomo para el Au y la Ag) y configuración atómica $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$; su frecuencia de plasma es $\omega_p \approx 15$ eV.³² En el modelo más simple (modelo de Drude) para un metal y considerando una interfaz simple metal/aire, se puede predecir que los plasmones de superficie pueden ser excitados en el rango de frecuencias $0 \leq \omega \leq \omega_{PS}$, donde ω_{PS} es la frecuencia de Plasmón Superficial (PS) dada por $\omega_{PS} = \frac{\omega_p}{\sqrt{1+\epsilon_d}}$; para el caso del aire como dieléctrico ($\epsilon_d = 1$), la frecuencia del PS está dada por $\omega_{PS} = \frac{\omega_p}{\sqrt{2}}$. El valor relativamente alto de ω_p indica qué tan amplio es el rango de frecuencias donde se pueden excitar plasmones de superficie en el Al (ver Figura 3).

Si bien la parte imaginaria de la función dieléctrica está directamente relacionada con pérdidas de energía en los metales, en esta situación el Al se encuentra en desventaja con respecto a la Ag y el Au. Esta es una de las razones por la que dichos metales son los materiales preferidos en la mayor parte de aplicaciones plasmónicas en el rango del espectro visible. Sin embargo, debido a la presencia de transiciones interbanda, no se pueden usar en el rango del UV, mientras que el Al es un buen candidato para aplicaciones en este rango.

Algunos experimentos realizados en nuestro laboratorio

Síntesis de nanoestructuras plasmónicas de Al

Para la síntesis de las diferentes nanoestructuras de Al se utiliza un método conocido como anodizado electroquímico de Al, el cual consiste en aplicar una diferencia de potencial en una celda electroquímica que genera un campo eléctrico entre dos placas, una de las cuales es el Al y la otra puede ser grafito, platino (Pt), plomo (Pb) o incluso el mismo Al.

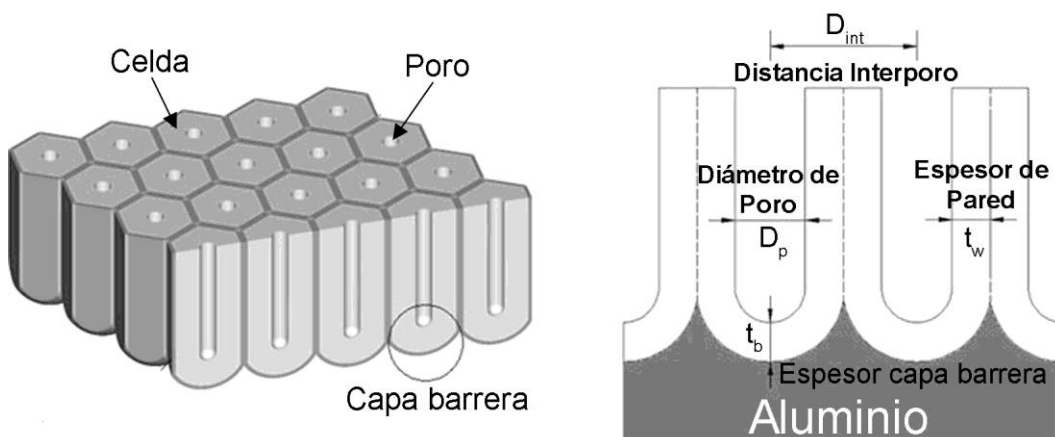


Figura 4. Diagramas esquemáticos de una película de Alúmina Anódica Porosa (izquierda) y una vista de su sección transversal (derecha), indicando todos los parámetros que la caracterizan.³³

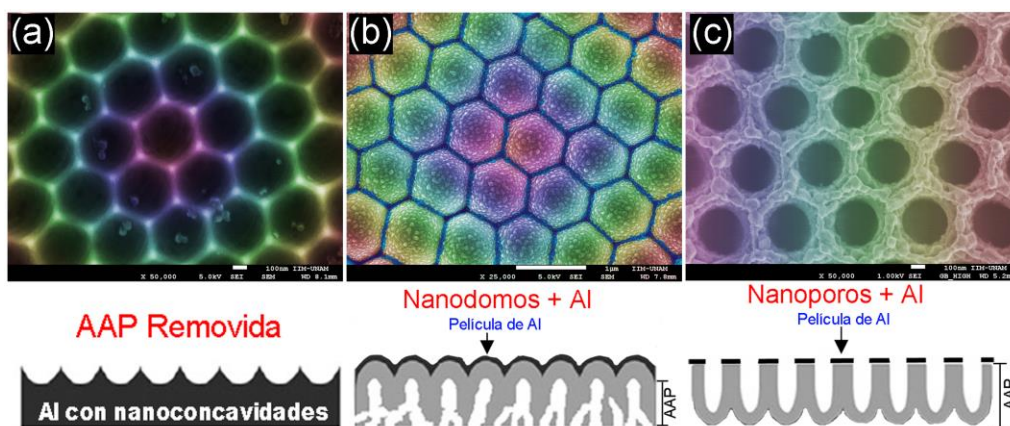


Figura 5. Las imágenes superiores muestran las micrografías SEM de color falso de las diferentes nanoestructuras reales obtenidas a partir de la AAP denominadas **(a)** nanoconcavidades, **(b)** nanodomos y **(c)** nanoporos. Las imágenes inferiores muestran su representación esquemática.

Cuando se inicia el proceso de anodizado, la corriente encuentra poca resistencia sobre la superficie del Al hasta que se forma una capa barrera. Luego de esto, se inicia un proceso de disolución local que entra en competencia con un proceso de crecimiento asistido por el campo eléctrico, produciendo así un tipo de óxido de Al anódico, comúnmente conocido como Alúmina Anódica Porosa (AAP), el cual consiste de un arreglo regular de celdas con un poro central que se extiende normal a la superficie del Al. La base de los poros está separada del Al por una capa de óxido de Al delgada y compacta tipo barrera como se observa en la Figura 4.

En nuestro laboratorio se han logrado sintetizar nanoestructuras de Al a partir de la AAP con diferentes morfologías como se observan en la Figura 5, las cuales denominamos como nanoconcavidades, nanodomos y nanoporos, aplicando voltajes de anodizado entre los 40 y los 600 V a temperatura ambiente.

Como electrolitos utilizamos ácido oxálico ($C_2H_2O_4$), fosfórico (H_3PO_4), cítrico ($C_6H_8O_7$) y una mezcla de los dos últimos. Sus dimensiones se encuentran en un rango que va de los 70 a los 1600 nm (ver Figura 6).

Los parámetros geométricos que caracterizan a estas nanoestructuras [diámetro de nanoconcavidad, nanodomo y nanoporo (D_p) así como la distancia interconcavidad, interdomo e interporo (D_c)] son proporcionales al voltaje de anodizado aplicado (Ver Figura 6). Otro aspecto importante es el arreglo hexagonal compacto que estas nanoestructuras guardan. El voltaje aplicado, el tipo y concentración del electrolito, así como la temperatura, afectan de manera directa su distribución. Todos los detalles acerca del proceso de fabricación se pueden encontrar en la referencia [34].

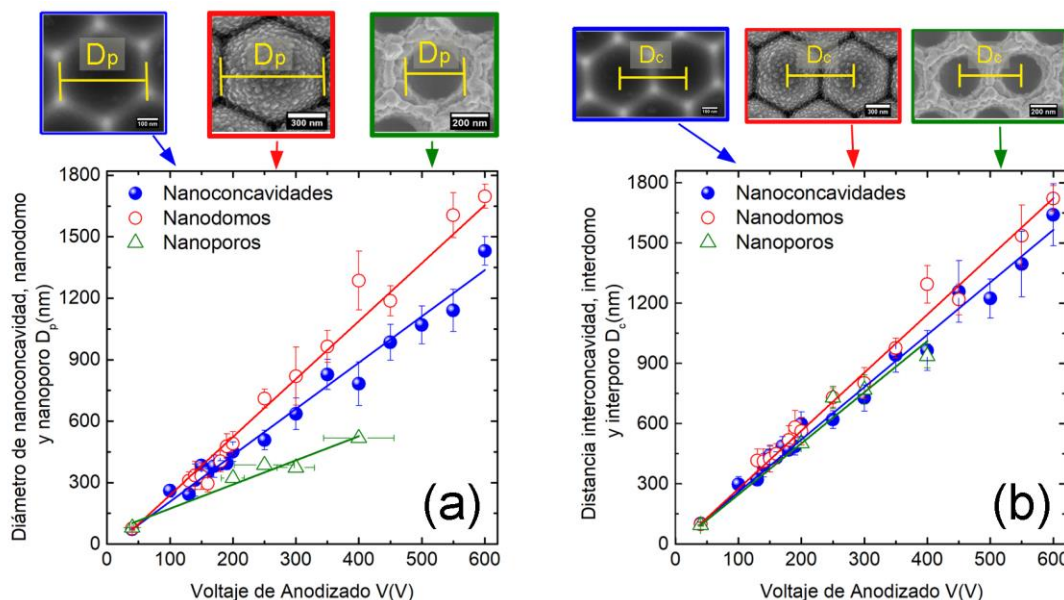


Figura 6. Relación entre los parámetros geométricos y el voltaje de anodizado para las diferentes nanoestructuras obtenidas a partir de la AAP.

(a) Diámetro de nanoconcavidad, nanodomo y nanoporo (D_p) vs. voltaje de anodizado;

(b) distancia interconcavidad, interdomo e interporo (D_c) vs. voltaje de anodizado.

Estudio de las propiedades plasmónicas en nanoestructuras de Al

Las propiedades plasmónicas de las diferentes nanoestructuras mostradas en la Figura 5 fueron investigadas por medio de espectroscopia UV-Vis bajo el modo de reflectancia especular. Las mediciones se realizaron bajo un ángulo de 4° con respecto a la normal y los espectros fueron recolectados por medio de una esfera integradora en el rango de longitud de onda de 190 - 1400 nm.

Los espectros de reflectancia en función de la longitud de onda de la luz para las diferentes nanoestructuras de Al se muestran en la Figura 7 (a). En todos los casos se puede observar la existencia de un mínimo significativo a 826 nm (~1.5 eV), identificado con una flecha vertical de color azul. Este hecho está relacionado con las transiciones interbanda de los electrones en el aluminio cristalino en bulto.²⁴

Además de las transiciones interbanda, aparecen otros mínimos en la reflectancia en comparación con sustratos usados como referencia (placa de Al electropulido y película de Al obtenida por evaporación térmica), identificados con flechas anaranjadas verticales.

Estos mínimos son atribuidos a RPS de primer orden y órdenes superiores.^{35,36} Las RPS se manifiestan como mínimos en el espectro de reflectancia en la región UV-Vis-IRC, como se observa en la Figura 7 (a); lo que significa que la luz incidente se acopla con las SPR ubicadas en las diferentes nanoestructuras de Al. La posición de los mínimos depende de las dimensiones de estas nanoestructuras, especialmente de la periodicidad a_0 , que en nuestro caso fue tomada como la distancia interconcauidad, interdomo e interporo (D_c).

Usamos como primera aproximación un modelo ideal para PS, en donde el acoplamiento de fotones con PS en matrices periódicas hexagonales proporcionan RPS o mínimos en espectros de reflectancia, cuya posición puede ser obtenida en determinada longitud de onda a diferentes ángulos de incidencia por medio de la siguiente ecuación:³⁵

$$\frac{\varepsilon_d \varepsilon_m(\lambda)}{\varepsilon_d + \varepsilon_m(\lambda)} = \sin^2(\theta) + \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{\lambda}{a_0} (2i + j) \sin(\theta) + \frac{4}{3} \frac{\lambda^2}{a_0^2} (i^2 + ij + j^2) \quad (1)$$

donde a_0 es el período de la matriz, ε_m y ε_d son las respectivas funciones dieléctricas del metal y el material dieléctrico en contacto con el metal; i, j los órdenes de dispersión de la matriz y θ es el ángulo de incidencia de los fotones.

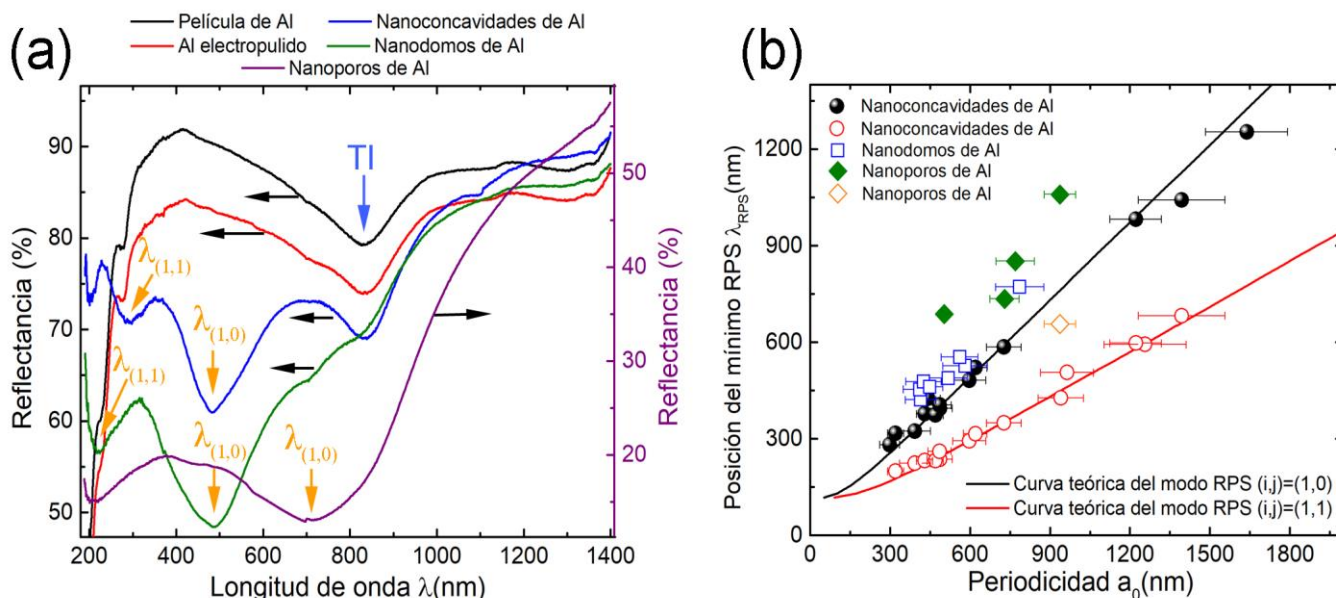


Figura 7.(a) Espectros de reflectancia para diferentes nanoestructuras de Al: nanoconcavidades, nanodomos y nanoporos. Los resultados de una placa de Al electropulido y una película de Al obtenida por evaporación térmica se muestran para su comparación. **(b)** Comparación de mínimos de RPS experimentales y curvas teóricas del modelo RPS en matrices periódicas hexagonales para los modos fundamentales $(i,j) = (1,0)$ y $(i,j) = (1,1)$ a un ángulo de incidencia de 4°.

En este modelo, las variaciones en el espesor del metal, el tamaño y la forma de las nanoestructuras no se consideran. Los mínimos más pronunciados en los espectros de reflectancia fueron atribuidos a RPS $(i,j) = (1,0)$ o primer orden $\lambda_{(1,0)}$ de acuerdo con la ec. (1). Un segundo mínimo fue atribuido a un modo de RPS de orden superior $(i,j) = (1,1)$ o segundo orden $\lambda_{(1,1)}$.

La Figura 7 (b) muestra datos experimentales de los mínimos en la reflectancia observados en las diferentes nanoestructuras, y las curvas teóricas para el modelo de RPS en matrices periódicas hexagonales descrito por la ec. (1) a un ángulo de incidencia de 4° .

Para realizar los cálculos, se resolvió la parte real de la ec. (1) utilizando los valores experimentales de la función dieléctrica compleja del Al $\epsilon_m(\lambda) = \epsilon_1(\lambda) + i\epsilon_2$ ³⁷ y tomando $\epsilon_d = 1$ para el aire. En la Figura 7 (b) se observa que las curvas analíticas para los modos $\lambda_{(1,0)}$ y $\lambda_{(1,1)}$ se ajustan de manera aceptable a los mínimos de reflectancia observados experimentalmente.

Fabricación de sensores para la detección y caracterización de moléculas

Los sensores basados en RPS desempeñan un papel importante en diversas aplicaciones de detección, por lo que aprovechando las propiedades plasmónicas de las diferentes nanoestructuras de Al, se fabricaron sistemas híbridos formados por estas nanoestructuras y por capas de grafeno para ser propuestos como sensores para la detección y caracterización de ciertas moléculas.

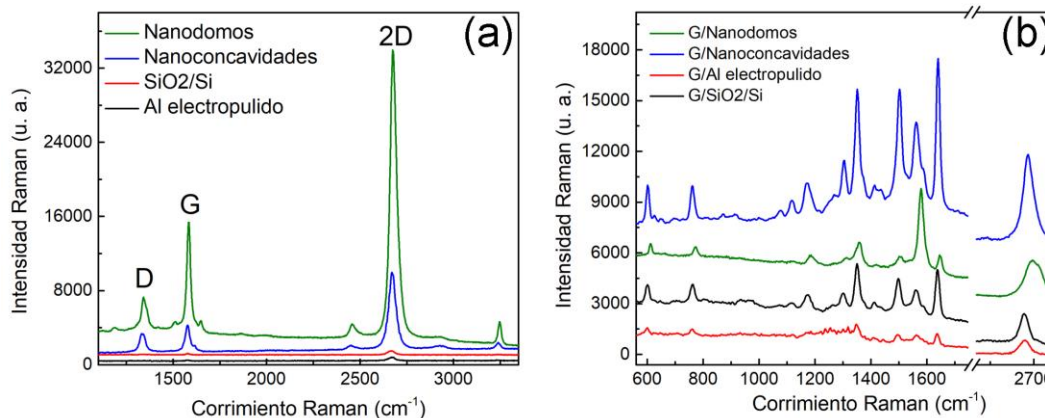


Figura 8. (a) Evolución del espectro Raman de grafeno depositado sobre diferentes nanoestructuras de Al (nanoconcavidades y nanodomos). Los espectros de grafeno sobre Al electropulido y sobre SiO₂/Si se muestran para su comparación (sustratos usados como referencias). **(b)** Espectros Raman de moléculas de R6G en una concentración de 1×10^{-6} mol/L, depositadas sobre sistemas híbridos formados por nanoconcavidades, nanodomos y grafeno. Los resultados usados como referencia se muestran para su comparación (Grafeno/SiO₂/Si y Grafeno/Al electropulido).

Este hecho se debe a un fenómeno conocido como SERS, que consiste básicamente en amplificar las señales Raman (casi exclusivamente provenientes de moléculas) en varios órdenes de magnitud.³⁸ La amplificación de estas señales por medio del efecto SERS se produce (principalmente) a través de la interacción electromagnética con los metales (o materiales conductores), que producen grandes aumentos de campos eléctricos intensos por medio de excitaciones generalmente conocidas como resonancias plasmónicas. Por lo que un buen sustrato SERS, en términos simples, es aquel que pueda soportar resonancias plasmónicas intensas, en otras palabras, aquel que pueda proporcionar una mayor mejora o amplificación de la señal Raman.

El efecto SERS es una poderosa técnica analítica que utiliza la mejora de la señal de Raman para caracterizar y obtener información detallada sobre la identidad de las moléculas químicas y biológicas. Dado que las propiedades plasmónicas son un factor importante para el rendimiento SERS, la fabricación de nanoestructuras con propiedades plasmónicas controlables es crucial en los estudios SERS.

En la Figura 8 (a) se observa que la intensidad de la señal Raman de las bandas G y 2D características del grafeno aumentan significativamente cuando se encuentra depositado sobre nanoestructuras de Al (nanoconcavidades y nanodomos, ver Figura 5 (a) y (b)) en comparación con sustratos utilizados como referencias (Al electropulido y SiO₂/Si). Las máximas mejoras de la señal Raman de las bandas del grafeno fueron de ~30 y ~60 veces cuando el grafeno estaba depositado sobre nanoconcavidades y nanodomos, respectivamente.

Uno de los resultados más interesante, derivado de nuestra investigación, fue que la máxima mejora en la señal Raman de las bandas del grafeno se logró cuando las resonancias plasmónicas de las nanoestructuras de Al se situaban alrededor de la longitud de onda de la sonda láser de excitación del sistema Raman. Sin embargo, es bien sabido que lograr que las resonancias plasmónicas coincidan (o estén cerca de la posición de la longitud de onda de excitación) sigue siendo un problema. Esto se debe a la falta de métodos efectivos para poder controlarlas. Mediante el anodizado electroquímico del Al aquí propuesto, se puede lograr fácilmente cambiando el tamaño de las nanoestructuras a través de los electrolitos y voltajes de anodizado apropiados (ver Figura 6).

Por otro lado, se iniciaron pruebas de principio para estudiar de manera efectiva el rendimiento de la señal Raman mejorada en sistemas híbridos formados por nanoestructuras plasmónicas de Al (nanoconcavidades y nanodomos ver Figura 5 (a) y (b)) y grafeno como sustratos SERS, utilizando Rodamina 6G (R6G) como molécula de prueba, aprovechando las características anteriormente mencionadas para así garantizar la máxima mejora de la señal Raman.

La Figura 8(b) muestra espectros Raman de R6G a una concentración de 1×10^{-6} mol/L sobre sistemas híbridos formados por nanoconcavidades, nanodomos y grafeno. Los resultados para R6G sobre sustratos usados como referencia (grafeno/SiO₂/Si y grafeno/Al electropulido) se muestran para su comparación. En ambos casos se puede apreciar el evidente aumento (de ~14 veces) de la señal Raman de la molécula de R6G cuando se encuentra sobre los sistemas híbridos en comparación con sustratos usados como referencia.

Los resultados derivados de nuestra investigación demuestran la excelente sensibilidad de los sustratos híbridos aquí propuestos para ser utilizados en pruebas SERS. Esto debido principalmente a la generación de RPS en las diferentes nanoestructuras de Al y al factor de mejora química adicional proporcionado por el grafeno debido al efecto conocido como Dispersión Raman Mejorada en Grafeno (GERS, Graphene Enhanced Raman Scattering por sus siglas en inglés),³⁹⁻⁴² además de que este último puede suprimir de manera efectiva la fluorescencia, permitiendo la detección de la señal Raman de ciertas moléculas altamente fluorescentes.^{43,44}

También puede aislar completamente a las moléculas del sustrato metálico, previniendo en gran medida daños fotoinducidos como la fotocarbonización, así como la absorción y deformación química.

De manera general, usando las propiedades plasmónicas de las diferentes nanoestructuras de Al (nanoconcavidades y nanodomos, ver Figura 5 (a) y (b)), es posible diseñar sustratos SERS formados a partir de la combinación de grafeno y nanoestructuras metálicas denominados “sustratos SERS mediados por grafeno (sustratos G-SERS)” (ver Figura 9), cuyas ventajas son: pueden actuar como mediadores SERS multifuncionales; el grafeno puede ser una superficie de apoyo plana para la organización de moléculas de una manera más controlable, además de que puede ser un espaciador que sirva para separar la molécula del metal; pueden presentar efectos estabilizadores, tanto para el sustrato como para las moléculas bajo exposiciones a radiación láser, por lo que estos sustratos G-SERS puede ser superiores a otros sustratos SERS convencionales.

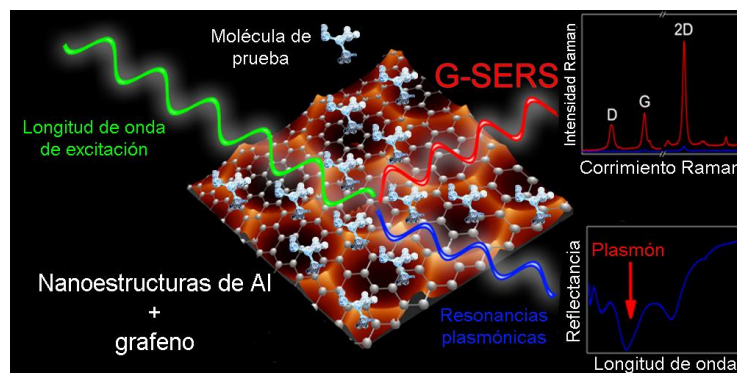


Figura 9. Diagrama esquemático de sustratos SERS formados a partir de la combinación de grafeno y nanoestructuras plasmónicas de Al denominados “sustratos SERS mediados por grafeno o sustratos G-SERS”.

Comentarios finales

Las propiedades plasmónicas de las nanoestructuras de Al aquí presentadas pueden ser propuestas para aplicaciones potenciales, tal y como se demostró en este trabajo al fabricar sistemas híbridos formados por estas nanoestructuras y grafeno, que pueden ser una gran promesa en estudios SERS-GERS para la detección y caracterización de moléculas de interés químico, biológico o ambos, empleando Rodamina 6G

como prueba de principio. Por otro lado, las nanoestructuras obtenidas a partir de la AAP pueden ser una alternativa útil para poder ajustar las propiedades plasmónicas de otros metales tales como Ag⁴⁵ y Pb; que son materiales de interés en nuestro laboratorio y que pretenden ser utilizados en estudios de transporte electrónico y superconductividad, así como el efecto de la interacción de estos fenómenos con plasmones.

Agradecimientos

Agradecemos a Josué E. Romero y a Omar Novelo del Laboratorio Universitario de Caracterización Espectroscópica (LUCE-UNAM) por las micrografías SEM; a Miguel A. Canseco por su ayuda con el equipo UV-Vis, a Carlos D. Ramos por su ayuda con el sistema de evaporación, a Raúl Reyes por su soporte técnico (todos ellos del IIM-UNAM), y finalmente al Laboratorio Universitario de Caracterización Espectroscópica (LUCE-ICAT-UNAM) por facilitarme el uso de sus instalaciones y especialmente de los equipos Raman.

Referencias

1. C. P. Bean and J. D. Livingston. *Journal of Applied Physics*, **1959**, 30, 120S-129S.
2. B. T. Matthias, T. H. Geballe and V. B. Compton. *Rev. Mod. Phys.*, **1963**, 35, 414.
3. F. W. Wise. *Acc. Chem. Res.*, **2000**, 33, 773-780.
4. W. A. Murray and W. L. Barnes. *Adv. Mater.*, **2007**, 35, 414.
5. D. R. Smith, J. B. Pendry, and M. C. K. Wiltshire. *Science*, **2004**, 305, 788-792.
6. F. J. García Vidal and L. Martín Moreno. *Investigación y Ciencia*, **2008**, 385, 66-76.
7. E. Hutter and J. H. Fendler. *Adv. Mater.*, **2004**, 16, 1685-1706.
8. E. Ozbay. *Science*, **2006**, 311, 189-193.
9. M. L. Brongersma and V. M. Shalaev. *Science*, **2010**, 328, 440-441.
10. J. N. Anker, et al. *Nature Materials*, **2008**, 7, 442-453.
11. X. Huang and M. A. El-Sayed. *Alexandria Journal of Medicine*, **2011**, 47, 1-9.
12. N. J. Hogan, et al. *Nano Lett.*, **2014**, 14, 4640-4645.
13. S. Mukherjee, et al. *Nano Lett.*, **2013**, 13, 240-247.
14. B. Sharma, et al. *materialstoday*, **2012**, 15, 16-25.
15. E. Fort and S. Gresillon. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **2008**, 41, 013001.
16. P. R. West, et al. *Laser Photonics Rev.*, **2010**, 4, 795-808.
17. V. P. Drachev, et al. *Opt. Exp.*, **2008**, 16, 1186-1195.
18. M. G. Blaber, M. D. Arnold, and M. J. Ford. *J. Phys.: Condens. Matter*, **2010**, 22, 143201.
19. M. R. Beversluis, A. Bouhelier and L. Novotny. *Phys. Rev. B*, **2003**, 68, 115433.
20. H. U. Yang, et al. *Phys. Rev. B*, **2015**, 91, 235137.
21. S. Roberts. *Phys. Rev.*, **1960**, 118, 1509.
22. H. Ehrenreich and H. R. Philipp. *Phys. Rev.*, **1962**, 128, 1622.
23. M. Schwind, B. Kasemo, and I. Zoric. *Nano Lett.*, **2013**, 13, 1743-1750.
24. H. Ehrenreich, H. R. Philipp, and B. Segall. *Phys. Rev.*, **1963**, 132, 1918-1928.
25. J. Hughes, D. Jones, and A. H. Lettington. *J. Phys. C: Solid State Phys.*, **1969**, 2, 102-103.
26. D. Gérard and S. K. Gray. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **2015**, 48, 180301.
27. J. Martin and J. Plain. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **2015**, 48, 184002.
28. D. Gérard and S. K. Gray. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **2015**, 48, 184001.
29. M. W. Knight, et al. *ACS Nano*, **2014**, 8, 834-840.
30. W. Li, K. Ren, and J. Zhou. *Trends in Analytical Chemistry*, **2016**, 80, 486-494.
31. J. Zhou, et al. *Chinese Chemical Letters*, **2018**, 29, 54-60.
32. D. Rakic, et al. *Applied Optics*, **1998**, 37, 5271-5283.
33. D. Losic and A. Santos. *Nanoporous Alumina. Fabrication, Structure, Properties and Applications*, Springer Series in Materials Science, New York, 2015.
34. Ricardo González Campuzano. *Tesis Doctoral: Propiedades ópticas de nanoestructuras plasmónicas híbridadas de aluminio y multicapas de grafeno*. **2019**, Posgrado en Ciencia e Ingeniería de Materiales, IIM-UNAM.
35. E. T. Papaioannou, et al. *Optics Express*, **2011**, 19, 23867-23877.
36. C. Genet and T. W. Ebbesen. *Nature*, **2007**, 445, 39-46.
37. E. D. Palik. *Handbook of Optical Constants of Solids*, Vol. 2, Academic, New York, 1985.
38. Roberto Pilot, et al. *Biosensors*, **2019**, 9, 1-99.
39. N. Zhang, L. Tong, and J. Zhang. *Chem. Mater.*, **2016**, 28, 6426-6435.
40. X. Ling and J. Zhang. *Small*, **2010**, 6, 2020-2025.
41. W. Xu, et al. *PNAS*, **2012**, 109, 9281-9286.
42. H. Lai, et al. *J. Mater. Chem. B*, **2018**, 6, 4008-4028.
43. L. Xie, et al. *Chem. Soc.*, **2009**, 131, 9890-9891.
44. Kasry, et al. *J. Phys. Chem. C*, **2012**, 116, 2858-2862.
45. R. González-Campuzano and D. Mendoza. *J. Phys.: Conf. Ser.*, **2019**, 1221, 012001.



Un acercamiento a la Nanoescala

José Alberto Ruiz Gayosso^a y Yareli Rojas Aguirre^{b*}

^aFacultad de Ciencias
Universidad Nacional Autónoma de México

^bInstituto de Investigaciones en Materiales,
Departamento de Polímeros
Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad
Universitaria, CP 70360, Coyoacán 04510, México, CDMX

albertoruiz@ciencias.unam.mx
yareli.rojas@materiales.unam.mx

Resumen

En la actualidad, la palabra *nano* ha adquirido gran popularidad debido a la creciente expectación que generan términos como el de nanotecnología o nanomateriales. Sin embargo, aunque existe una idea generalizada acerca de estos términos que involucra la creación de tecnología a escalas muy pequeñas, el porqué de su relevancia debe ser comprendido. Para poder entender la importancia de la nanotecnología es necesario hablar del concepto de nanoescala, que, aunque abstracto, resulta de fundamental importancia para entender los cambios en las propiedades de los sistemas a escalas atómicas y moleculares. En este artículo se explica la relación entre nanoescala y nanotecnología, la importancia de la relación área superficial-volumen y finalmente se presenta a las nanopartículas de oro como el ejemplo que evidencia el cambio de las propiedades ópticas en función del tamaño de dichas nanopartículas.

Introducción

Desde el punto de vista de la Física, existen cuatro fuerzas fundamentales que permiten describir todas las interacciones presentes entre los diferentes constituyentes del universo. Estas fuerzas, ordenadas de forma descendente de acuerdo con su intensidad, son las siguientes: a) la fuerza nuclear fuerte, b) la fuerza electromagnética, c) la fuerza nuclear débil y, por último, d) la fuerza de atracción gravitacional (Griffiths, 2008). De estas cuatro, es la interacción electromagnética de la cual la ciencia tiene un mejor entendimiento. Esto no es casualidad, ni tiene relación con cuestiones históricas, más bien es consecuencia de la gran cantidad de situaciones en las cuales las interacciones electromagnéticas dominan los fenómenos. En efecto, todas las interacciones mecánicas, las reacciones químicas, así como la formación de diferentes materiales mediante la unión de átomos y moléculas son fundamentalmente interacciones de tipo electromagnético.

Después de lo anterior expuesto, resulta que la idea de manipular y organizar los átomos, de uno por uno, de forma deliberada para la creación de materiales con propiedades únicas, no es del todo irrealizable, siempre que dicha manipulación sea consistente con las leyes de la Física. Sin embargo, esta visión no es nueva. En 1959, en una conferencia impartida por el doctor en física Richard Feynman en el Instituto de Tecnología de California (CALTECH), se habló sobre el control y la manipulación de las cosas a pequeña escala. En dicha plática, titulada "*There's plenty of room at the bottom*", se exponen ideas tales como el almacenaje de información en escalas atómicas, el uso de microscopios electrónicos para la escritura y lectura de dicha información, el reto de fabricar computadoras cada vez más pequeñas (miniaturización) y la creación de máquinas diminutas del tamaño de unos cuantos átomos (Feynman, 1960).

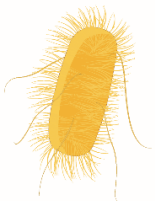
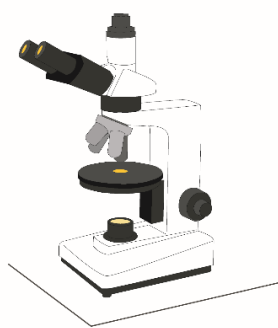
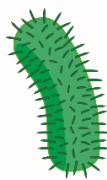
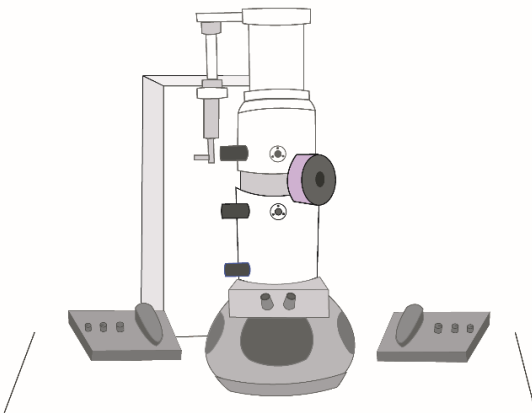
Tamaño (nm)	Su observación es:
Pelota de Tenis $\sim 100,000,000$ nm  Cabello humano $\sim 100,000$ nm 	 A simple vista.
Glóbulo rojo $\sim 10,000$ nm  Escherichia coli $\sim 1,000$ nm 	 Por medio de microscopios ópticos.
Virus de la rabia ~ 100 nm  Ácido desoxirribonucleico ~ 2 nm (ADN) 	 Por medio de microscopios electrónicos (escalas atómicas y moleculares).

Figura 1. Comparación del tamaño (en nm) de diferentes objetos.

A escalas más pequeñas es necesario el uso de instrumentos más sofisticados como microscopios electrónicos de transmisión, microscopios de fuerza atómica o microscopios de efecto túnel (Murty et al., 2013).

Nanotecnología

Esta última idea fue también explorada por el doctor Eric Drexler, en la cual concibe la creación de máquinas ensambladoras capaces de realizar copias de sí mismas, pero también de crear dispositivos útiles y con aplicaciones en diferentes áreas tales como la medicina o la computación (Drexler, 1986).

Esta tarea de miniaturización de la tecnología resulta sumamente interesante, debido a que el comportamiento de los sistemas a escalas cada vez menores cambia de forma considerable, pues cuando se reduce el tamaño de los materiales, se observa que sus propiedades y las interacciones con otros sistemas no permanecen constantes (Schaefer, 2010). De hecho, en algunos casos en los que los sistemas están conformados por una cantidad pequeña de átomos, la teoría física necesaria para describir sus propiedades es distinta a aquella que es utilizada para el estudio de sistemas macroscópicos.

De particular importancia son los grandes avances que se han hecho, por ejemplo, en el campo de la computación, donde se ha logrado construir microprocesadores con una cantidad aproximada de 2×10^9 transistores en un área de tan solo 50 x 20 mm, lo cual ha significado un aumento en la capacidad de procesamiento de las computadoras, al mismo tiempo que se ha logrado reducir el tamaño de las mismas. Este es un ejemplo de la manipulación de la materia a escalas diminutas que ha impactado enormemente al ser humano (Ramsden, 2011).

Sin embargo, es la naturaleza la que ha inspirado al ser humano en su camino al desarrollo de tecnologías a pequeña escala. El trabajo realizado en áreas como la biología molecular ha puesto en evidencia una gran cantidad de situaciones en las cuales, estructuras cuyo tamaño se encuentra en escalas micro y nanoscópicas, desarrollan funciones tan complejas y dinámicas como el transporte de moléculas, la catálisis de reacciones químicas (enzimas) o los procesos de autoensamblaje. En este sentido, la biología representa el paradigma para la creación de tecnologías a pequeña escala (Ramsden, 2011).

El desarrollo de materiales a escalas atómicas o moleculares corresponde a la nanotecnología, la cual se define como el conjunto de disciplinas (Física, Química, Biología e Ingenierías) enfocadas en el estudio, manipulación y control de la materia a nivel atómico y molecular, para crear sistemas con propiedades físicas y químicas que superen a los materiales en bulto (Covarrubias, Meza & Rojas, 2019).

La palabra nano, de origen griego y que significa "enano", se utiliza como prefijo para indicar que cierta medida corresponde a una milmillonésima parte de la unidad. De esta forma, un nanómetro, cuyo símbolo estándar de acuerdo al SI es **nm**, corresponde exactamente a 1×10^{-9} m. La nanoescala, estrictamente hablando, abarca de 1 a 1000 nm, sin embargo, hace referencia a estructuras en las que al menos una de sus dimensiones se encuentra entre 1 y 100 nm (nanomateriales), ya que es en estas dimensiones donde la materia presenta propiedades distintas a las de los materiales en bulto (Murty et al., 2013; Schaefer, 2010). Sin embargo, existen estructuras poliméricas entre los 200 y 500 nm que pueden presentar características distintivas y, por lo tanto, se podrían también considerar como nanomateriales. De acuerdo a su dimensionalidad, los nanomateriales pueden ser clasificados en una de las siguientes cuatro categorías: 0-D, en la cual todas las dimensiones del nanomaterial se encuentran en la nanoescala; 1-D, que corresponde a sistemas con una dimensión que no se encuentra en la nanoescala; 2-D, que corresponde a sistemas con dos dimensiones fuera de la nanoescala; y 3-D, en la cual todas las dimensiones del material se encuentran en una dimensión mayor a la nanoescala por lo que se considera como un material en bulto (Covarrubias et al., 2019; Murty et al., 2013).

Ya que los nanomateriales presentan todas o alguna de sus dimensiones en la escala nanométrica, es necesario el uso de herramientas adecuadas para conocer su estructura, tamaño y en algunos casos su composición.

Una de estas herramientas es la microscopía (Kulkarni, 2015). Como se observa en la Figura 1, el análisis de los nanomateriales requiere de microscopios con una gran capacidad de resolución. El poder de resolución R , que representa la capacidad del microscopio de distinguir dos puntos de una imagen está dado por la ecuación 1:

$$R = \frac{\lambda}{2NA} \quad (1)$$

donde λ es la longitud de la radiación observada (luz, electrones) y NA es la apertura numérica que es una medida característica de cada microscopio (Jenkins, 1976).

En 1924, el doctor en física Louis de Broglie propuso que, asociada a cada partícula, existe una longitud de onda dada por la ecuación:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (2)$$

donde h es la constante de Planck y p es el momento lineal de la partícula el cual es directamente proporcional a su velocidad.

Para electrones con la suficiente energía cinética, el momento lineal es tan grande que la longitud de onda asociada al electrón, dada por la ecuación 2, varía entre los 0.122 nm y 0.0122nm. Usando un haz de electrones y campos magnéticos para la manipulación de dicho haz, se desarrolló el microscopio electrónico, el cual permite obtener imágenes de estructuras en la escala nanométrica, esto debido al incremento en la capacidad de resolución (Beiser, 2006; Jenkins, 1976). En la Figura 2 se resume el desarrollo de la microscopía electrónica.

Así, el desarrollo de la microscopía electrónica ha caminado de forma paralela con los avances en nanotecnología y esto ha permitido obtener un mejor entendimiento de las propiedades de los sistemas a escalas nanométricas.

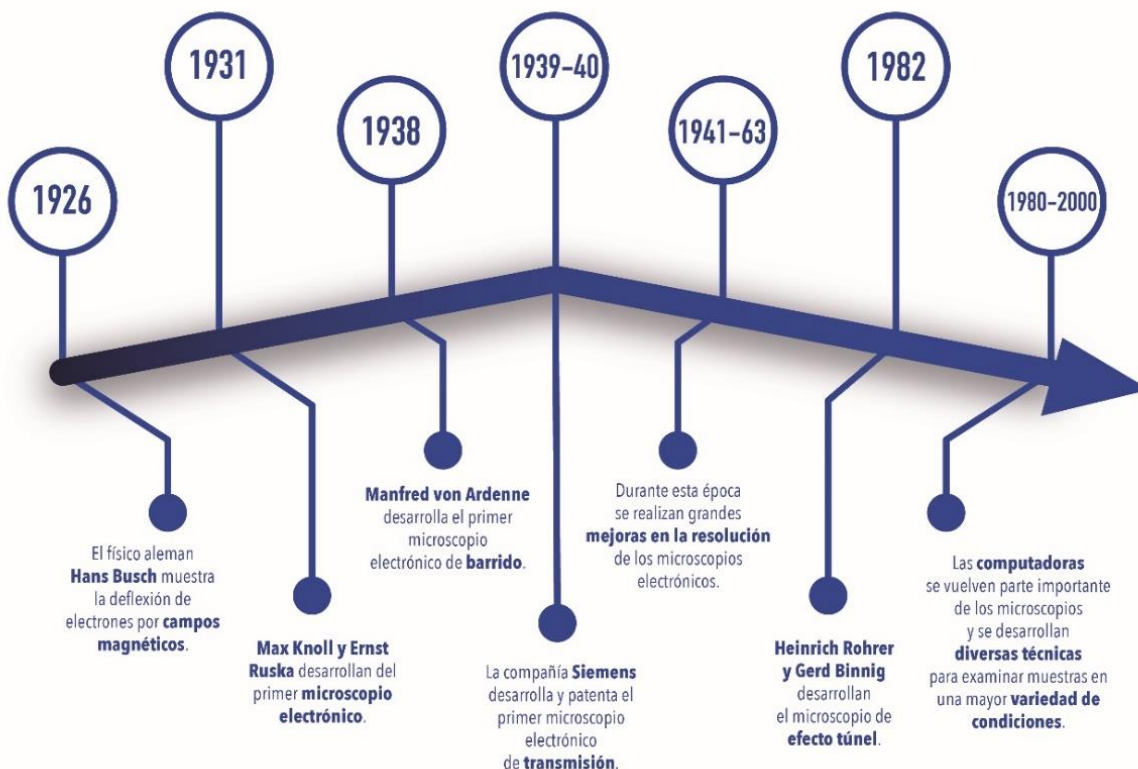


Figura 2. Desarrollo histórico de la microscopía electrónica (adaptado de Bozzola & Russell, 1999; Palucka, 2002)

La relación área superficial-volumen

Como ya se ha mencionado, las propiedades de los materiales no permanecen invariantes conforme se disminuye su tamaño. En particular, una característica que resulta fundamental en dichas propiedades es la razón s , que expresa la relación entre el área superficial A del material y su volumen V (Kattan, 2011):

$$s = \frac{A}{V} \quad (3)$$

Dicho en otras palabras, s es la cantidad de área superficial por unidad de volumen.

El por qué de la importancia del valor de s , radica en que las interacciones o reacciones químicas que se dan entre diferentes materiales ocurren entre las moléculas o átomos que se encuentran sobre su superficie.

Los constituyentes (átomos y moléculas) de tales materiales que se encuentran en la región exterior contribuyen mayoritariamente, mientras que los que se encuentran en el interior, contribuyen a estas interacciones de forma despreciable.

La ecuación 3 significa que, si el volumen disminuye en mayor proporción que el área superficial entonces la razón s se incrementa.

Para poner en perspectiva lo que se ha descrito, considérese una esfera de radio R . El área de dicha esfera está dada por la ecuación 4:

$$A = 4\pi R^2 \quad (4)$$

Mientras que su volumen puede calcularse a partir de la ecuación 5:

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 \quad (5)$$

De las ecuaciones 3, 4 y 5 podemos calcular la razón entre el área superficial y el volumen en una esfera (Kattan, 2011):

$$s = \frac{3}{R} \quad (6)$$

La interpretación de la ecuación 6 es la siguiente: conforme se disminuye el radio de la esfera, existe un decremento en el área superficial, así como en el volumen, esto puede observarse de las ecuaciones 4 y 5. Sin embargo, este decremento ocurre más rápido en el caso del volumen y por lo tanto la razón s incrementa cuando el radio R disminuye. Es decir, que la *cantidad* de área superficial por unidad de volumen ha aumentado.

Aunque los nanomateriales no pueden considerarse como figuras geométricas perfectas debido a su estructura atómica y molecular, el comportamiento de la razón área superficial-volumen de estructuras con alguna de sus dimensiones en la escala nanométrica es similar al de una esfera. Véase por ejemplo la Figura 3. Cada esfera representa una nanopartícula constituida por átomos de un mismo elemento de radio r , los átomos en la superficie se muestran en color azul. En la primera esfera, la proporción de átomos sobre la superficie respecto al número total de los mismos es mucho menor que en la segunda esfera, en la cual se observa que el número de átomos sobre la superficie es comparable con el total de átomos que constituyen la partícula.

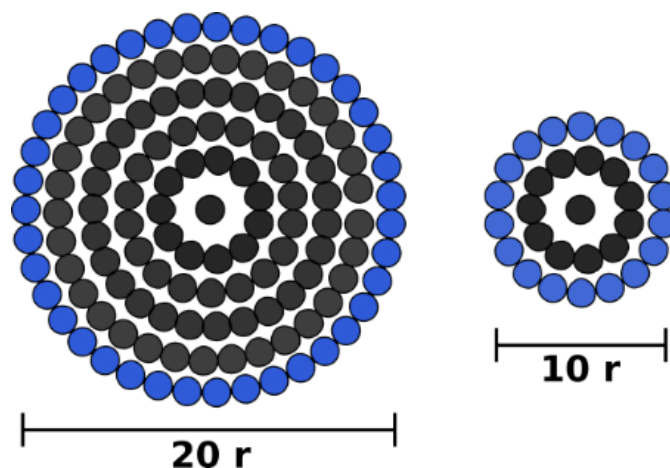


Figura 3. Razón área superficial-volumen. Conforme se disminuye el tamaño de la partícula, la proporción de átomos en la superficie respecto al número total de los mismos se incrementa.

Esta es una visión simplificada de lo que ocurre en la realidad, ya que los materiales son estructuras tridimensionales con arreglos atómicos mucho más complejos, pero la imagen ilustra de manera simple la idea sobre el cambio en la razón entre el área superficial y el volumen de un material conforme se disminuye su tamaño.

Otra forma de observar el incremento en la razón área superficial-volumen, s , es considerando una cierta cantidad de material con volumen fijo. Este material presenta un área superficial que depende de la forma geométrica que asuma, pero si se divide dicho material en cantidades cada vez más pequeñas, la proporción de átomos en contacto con los alrededores aumenta y, por lo tanto, el área superficial. Ya que el volumen es constante, la razón s se incrementa. Esto se traduce en una mayor interacción con los alrededores. Esta idea se ilustra en la Figura 4.

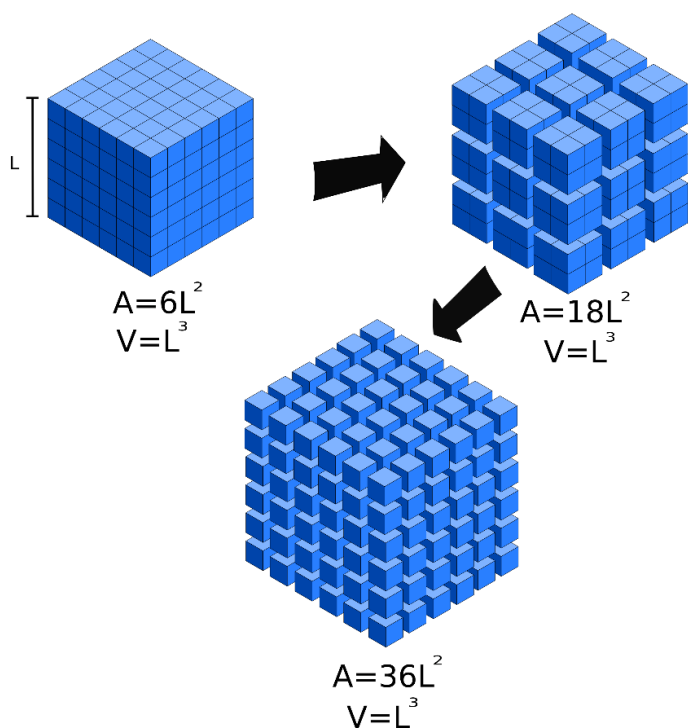


Figura 4. Incremento de la razón área superficial-volumen cuando se reduce el tamaño de las partículas. Este comportamiento se traduce en un aumento en la proporción de átomos en contacto con los alrededores.

Los nanomateriales

De acuerdo con lo anterior, resulta evidente que, en el caso de los nanomateriales, la proporción de átomos sobre su superficie es mayor que la contenida dentro de su volumen. Por lo tanto, un mayor número de átomos, estarán disponibles para interactuar con sus alrededores. Como consecuencia, el comportamiento de un nanomaterial puede variar de manera significativa respecto a materiales con dimensiones mayores, lo cual se traduce en la modificación de sus propiedades (Theodore, 2005).

Un típico ejemplo en el cual se observa un cambio evidente en las propiedades, en este caso, ópticas, de las partículas conforme se disminuye su tamaño, es el de nanopartículas de oro suspendidas en un medio fluido (Figura 5). Dependiendo del tamaño de dichas nanopartículas, el color de la luz reflejada por las mismas varía en un amplio intervalo del espectro electromagnético visible. Por ejemplo, las nanopartículas de oro cuyo diámetro es de 50 nm parecen azules al ojo humano, mientras que aquellas con un diámetro de 25 nm se observan de color rojo (Murty et al., 2013).

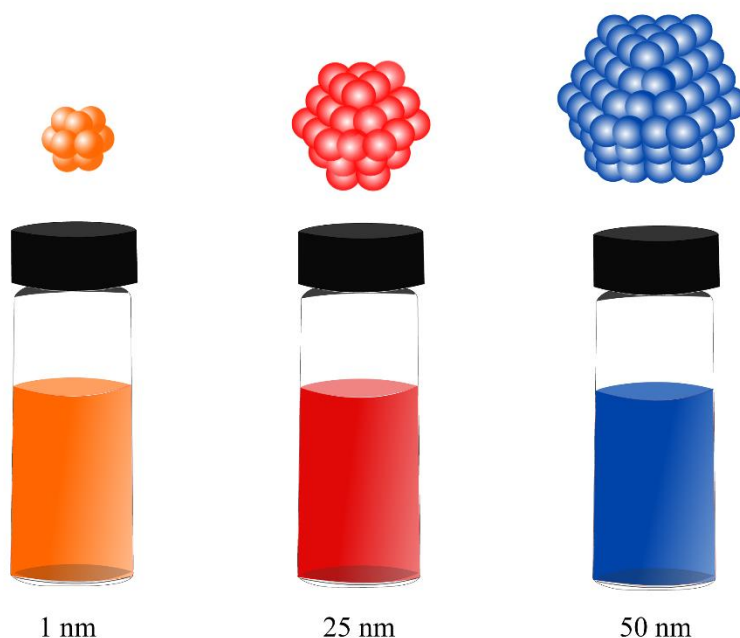


Figura 5. Nanopartículas de oro suspendidas en un medio líquido

La explicación a tal fenómeno es relativamente simple; cada nanopartícula puede ser considerada como una red de iones positivos y fijos en el espacio, rodeados por una nube de carga negativa (electrones) la cual puede moverse libremente por la red. Si un campo electromagnético, en este caso luz, incide sobre la nanopartícula, el conjunto de electrones libres oscilará con la misma frecuencia de dicho campo, pero la amplitud de la oscilación dependerá de las características intrínsecas de la nanopartícula. Esta oscilación colectiva de los electrones se conoce como plasmón (Figura 6). Cuando la frecuencia de la luz incidente es igual a la frecuencia natural del material, se produce un fenómeno de resonancia en el cual la amplitud de oscilación de los electrones es máxima. Esto se debe a que la luz de dicha frecuencia es absorbida por los electrones que oscilan, por lo tanto, el color de las nanopartículas, que se observa, corresponde a la radiación electromagnética que se refleja, la cual es de una frecuencia distinta. Si el tamaño de la nanopartícula aumenta o disminuye, la frecuencia a la cual ocurre la resonancia cambia y por lo tanto estas se observan de diferentes colores (Kulkarni, 2015).

Otro efecto interesante que se presenta en la nanoescala es el confinamiento cuántico. En dicho efecto, los electrones presentes en los nanomateriales están restringidos a moverse en una región muy pequeña del espacio. A este respecto, destacan los *quantum dots*, que son nanomateriales 0-D en los que los electrones están confinados a una región puntual del espacio, es decir, que no tienen permitido moverse en ninguna de las tres direcciones espaciales existentes. Como consecuencia de este confinamiento, la distancia entre la banda de valencia y la banda de conducción presentes en materiales conductores o semiconductores incrementa conforme se disminuye el tamaño de la nanopartícula. Esta relación entre el tamaño de la nanopartícula y el ancho de la banda prohibida permite manipular sus propiedades ópticas y electrónicas (Kulkarni, 2015; Yadav & Chaudhary, 2014).

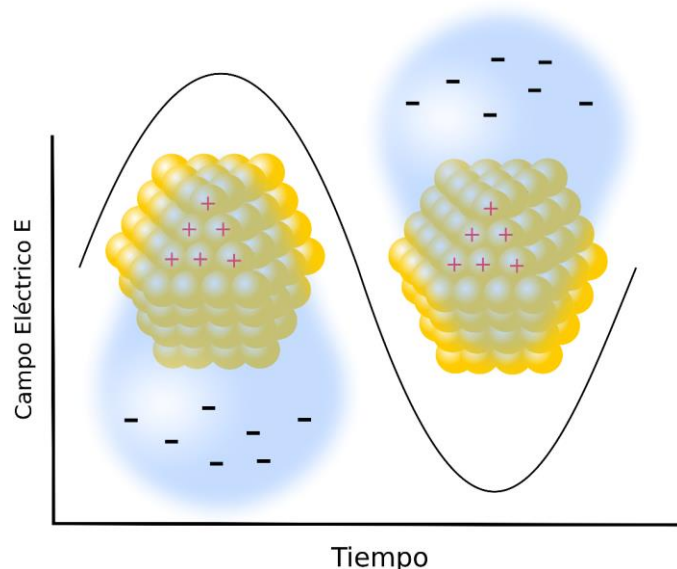


Figura 6. Interacción entre una nanopartícula y un campo electromagnético. La oscilación de la densidad electrónica debido a las ondas electromagnéticas se denomina plasmón.

Conclusiones

La nanotecnología busca controlar la materia para explotar las propiedades que esta presenta en la nanoescala, las cuales, al manipularse y controlarse, pueden dar lugar a materiales en la macroescala, con atributos físicos y químicos que superen a aquellos que caracterizan a los materiales que conocemos hoy en día. Es así como la investigación, fabricación y utilización de nanomateriales son campos que han estado creciendo en las últimas décadas y son de gran interés para el sector industrial ya que se les ha considerado como los materiales de nueva generación.

A pesar del potencial e inimaginables aplicaciones que los nanomateriales pudieran tener, es importante tener en cuenta que las propiedades en la nanoescala son producto de la composición y el arreglo espacial de los átomos y moléculas que componen un material determinado. El entendimiento de lo anterior, permitirá construir materiales de manera que se reflejen y exploten dichas propiedades. Por otra parte, entender la relación entre las propiedades de los nanomateriales y la nanoescala, resulta indispensable no solamente para evitar ideas fantasiosas y sensacionalistas al respecto, sino para lograr avances tecnológicos tangibles de manera multidisciplinaria.

Agradecimientos

Los autores agradecen al proyecto PAPIME-UNAM PE117419 por ser la fuente de financiamiento de este trabajo.

Referencias

- Griffiths, D. (2008). 'Elementary Particle Dynamics'. *Introduction to elementary particles* (pp.55-56). Wiley-VCH, Weinheim Germany.
- Feynman, R. (1960). There's plenty of room at the bottom. *Caltech Engineering and Sciences* **1**, 22–36.
- Drexler, K. E., (1986). 'Engines of Construction'. *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. Anchor Books.
- Schaefer, H. E. (2010). 'Introduction and Some Physical Principles'. *Nanoscience: The Science of the Small in Physics, Engineering, Chemistry, Biology and Medicine* (pp. 1-7). Springer Berlin Heidelberg, Berlin.
- Ramsden, J. (2011). 'What is nanotechnology?'. *Nanotechnology : an introduction* (pp. 7-13). Elsevier/William Andrew.
- Covarrubias, S. M, Meza, P. L., & Rojas, A. Y. (2019). La nanotecnología al alcance de tus manos. *Revista Materiales Avanzados* **30**, 66-71.
- Murty, B. S., Shankar, P., Raj B., Rath, B. B. & Murday, J., (2013). 'The Big World of Nanomaterials'. *Textbook of Nanoscience and Nanotechnology* (pp. 3-7). Berlin, Springer Berlin Heidelberg.
- Kulkarni, S. K. (2015). 'Analysis Techniques'. *Nanotechnology: Principles and Practices* (p. 135). Springer International Publishing.
- Theodore, L. (2006). *Nanotechnology: basic calculations for engineers and scientists* (pp. 55-56). NJ, John Wiley & Sons, Inc.
- Kattan, P. I. (2011). Ratio of Surface Area to Volume in Nanotechnology and Nanoscience. Basic Nanomechanic Series, (pp. 1-32). Petra Books
- Jenkins, F. A., White H. E. (1976). 'Fraunhofer Diffraction by a Single Opening'. *Fundamentals of optics* (pp. 332-334). New York, McGraw-Hill Book Company,
- Beiser, A. (2002). 'Wave Properties of Particles'. *"Atomic structure", Concepts of modern physics* (pp. 92-95). New York, McGraw-Hill.
- J. J. Bozzola, L. D. Russell, (1999). 'The Past, Present, and Future of Electron Microscopy'. *Electron Microscopy : Principles and Techniques for Biologists* (pp. 2-14). Sudbury, Mass: Jones & Bartlett Learning.
- Palucka, T. (2002). Electron microscopy. Recuperado de <https://authors.library.caltech.edu/5456/1/hrst.mit.edu/hrs/materials/public/ElecMicr.htm>
- Yadav, M., & Chaudhary, A. (2014). Quantum Dots: An Introduction. *International Journal of Research in Advent Technology*, IAEISDISE 2014, 61-66.



Cuadros y plástica

Edgar Núñez Rojas

eeddgar@yahoo.com.mx

Nació en un pueblo de Oaxaca en el año 1975, desde niño mostró interés por el dibujo más no habilidad, según sus palabras no tenía la capacidad para crear lo que miraba en su mente, lo cual le era molesto, un ejemplo es que en aquellos tiempos deseaba dibujar una batalla y los resultados le eran frustrantes. A los diez años copiaba estampas de diferentes álbumes y posteriormente optó por copiar algunas portadas que le gustaron, portadas de discos que nunca había escuchado.

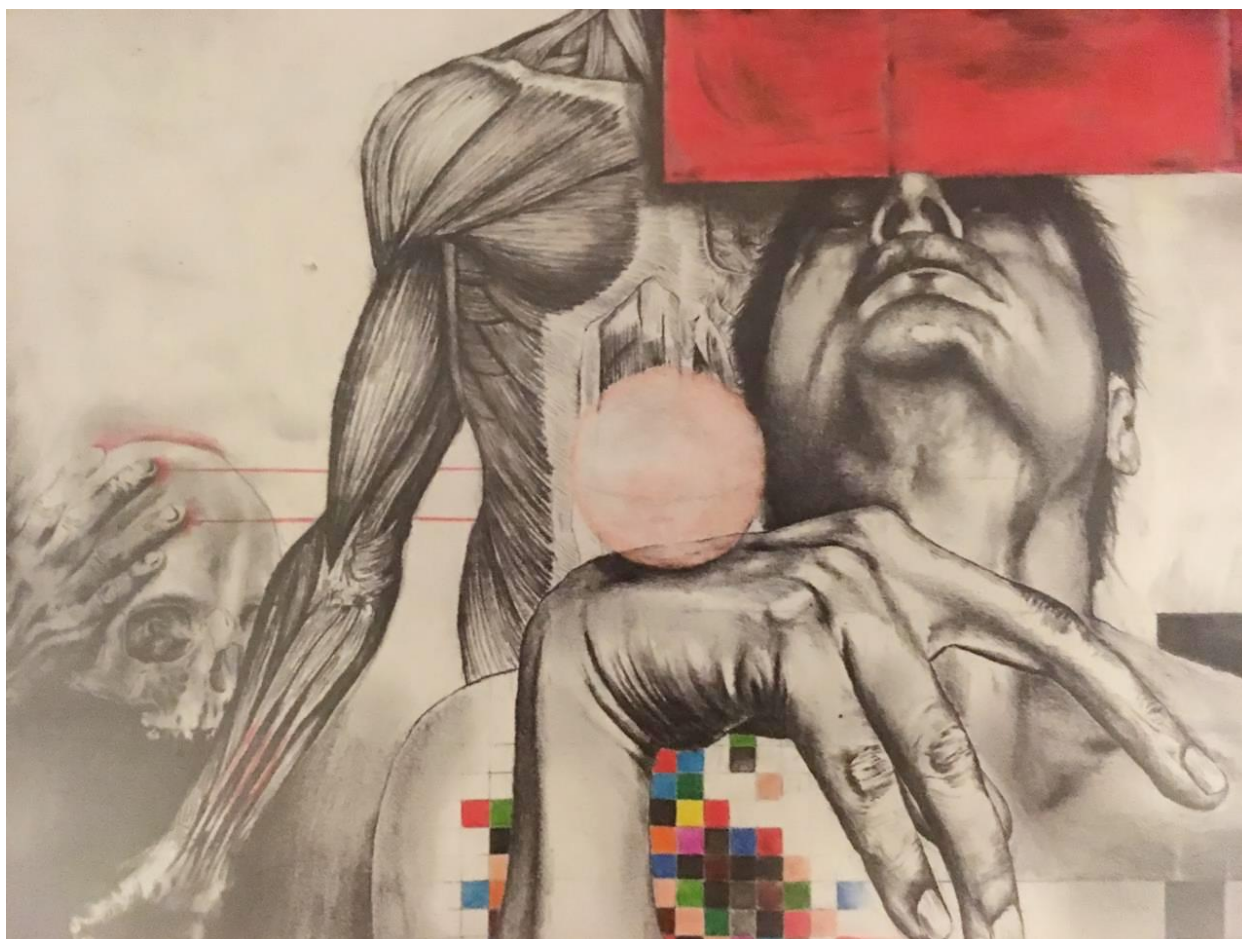
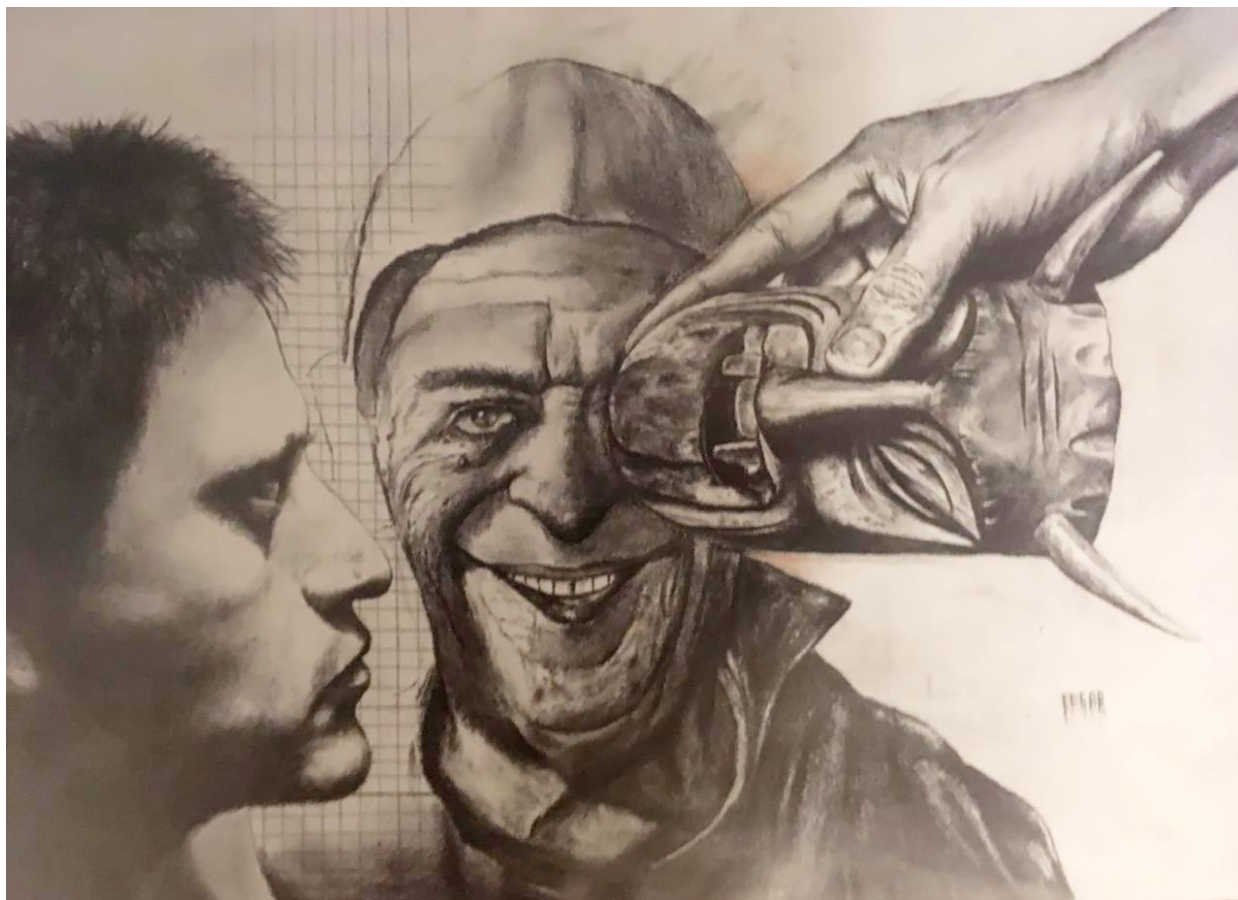
En su adolescencia se olvidó, más o menos, del dibujo y fue hasta la edad de 18 años (y por razones que no vienen a cuento) cuando retomó el dibujo, pensando seriamente en hacerlo bien. Desde esa edad ha estado intentado (él menciona que no lo logró hasta después de haber hecho algo así como doce dibujos) retratar algo que se parezca a lo que ha sentido y siente. A lo largo de este tiempo ha logrado acumular una serie de trabajos que han sido expuestos en diferentes espacios. En el año 2000 montó la exposición 'diablo de tiempo' en el Campo 4 de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, ahí presentó 16 obras. Posteriormente, en el año 2003 expuso su obra en el Centro Cultural La Pirámide, en la Ciudad de México, la exposición se llamó 'desde las espinas' y constó de veinte obras.

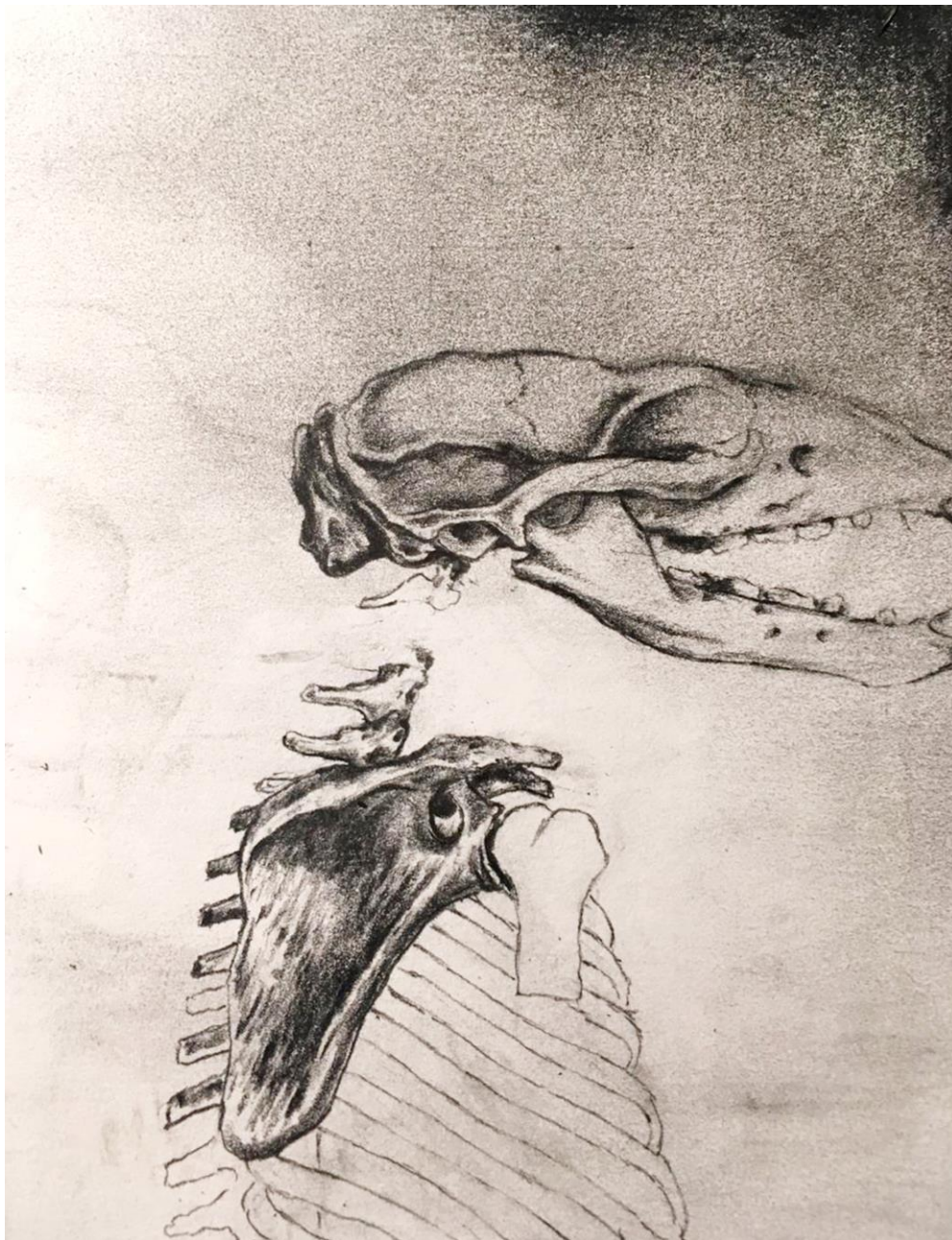
En el año 2016 presentó en el edificio F de la UAM-Iztapalapa la exposición 'algo negro cercano al olvido'. Y en este mismo año, presentó la exposición 'algo negro cercano al olvido II' en la casa de la primera imprenta, en el centro de la Ciudad de México.

También ha impartido cursos de dibujo, uno de ellos en el marco de la Feria del Libro de la Ciudad de México en el año 2004.

Estudió Ingeniería Química en la Facultad de Química de la UNAM, así como una maestría y un doctorado en Ciencias e Ingeniería de Materiales en el Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM.

Ha dado cursos de Física en la Facultad de Química desde el año 2005 y actualmente trabaja como académico en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, en el Departamento de Química. Es catedrático de CONACyT y nivel 1 del Sistema Nacional de Investigadores.





Apoyo a la docencia

De alquimia,
astronomía y
el año
internacional
de La Tabla

Astron Rigel Martínez Rosas

astron@iim.unam.mx

Noche de las estrellas es el evento de divulgación científica más concurrido a nivel nacional y se celebra anualmente en todo México.

Comparto algo del material que realicé para la sede local en la que participé en Morelia, Michoacán y para el Instituto de Radioastronomía y Astrofísica (IRyA).

Se trata de una actividad manual que conjunta divulgación científica y sensibilización en materia de Derechos Humanos y poblaciones vulneradas.

A simple vista, el planeta **Marte** se observa de color rojo. Bella coincidencia, pues su símbolo alquímico corresponde a aquel del hierro, cuyo óxido también es de color rojo y es precisamente la sustancia que le da color a la superficie de este planeta.

Nuestra roja sangre también le debe su color a este elemento químico. Cuando tenemos deficiencia del mismo, desarrollamos anemia. Esta condición médica puede servir como un indicador del desarrollo social y la desnutrición en regiones marginadas de nuestro planeta.

Nuestro centro de vida (la sangre) nos recuerda también al centro de las Estrellas y a su ciclo de reacciones termonucleares que termina, justamente, con el hierro.

Hierro en el centro del planeta, hierro en el centro de las estrellas,
hierro en Marte y hierro en nuestra sangre.

Instrucciones:

En el pasado, la alquimia reconocía cuatro "elementos" clásicos de los que todos hemos escuchado:

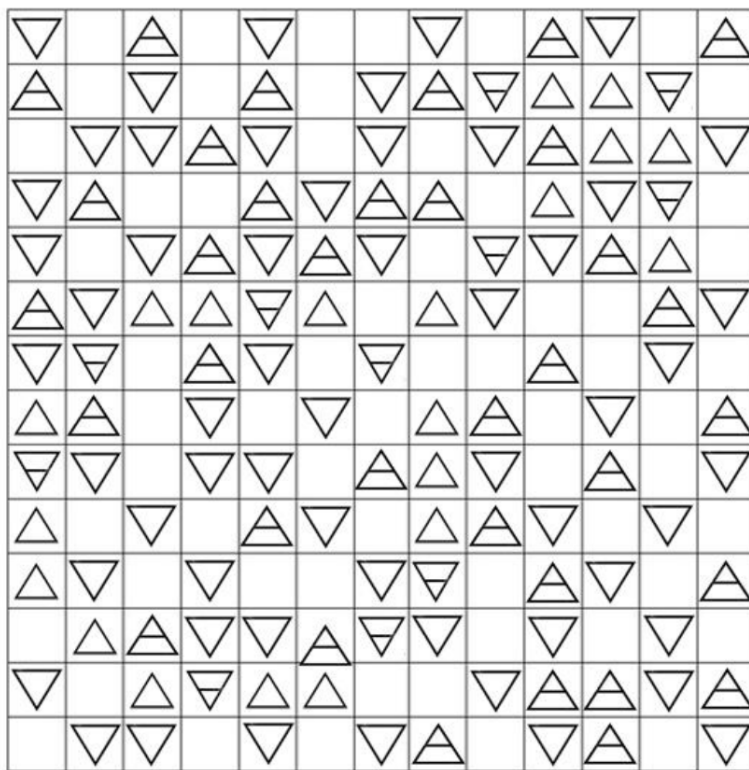


(cada uno con su símbolo).

Actualmente, la química moderna reconoce como elementos químicos únicamente a los que podemos hallar en la Tabla Periódica.

Descubre la figura escondida coloreando (del mismo color) aquellos espacios en los que veas los símbolos alquímicos relacionados con la fundición y forjado del hierro, en este caso, **tierra y fuego**, y dejando los demás espacios en blanco.

Si realizas esta actividad correctamente aparecerá frente a tus ojos el símbolo alquímico correspondiente al hierro y el símbolo astronómico del planeta Marte.



Material gratuito de **DiVU A.C.** Diversidad, cultura, género, alimentación y ciencia   

Noche de las Estrellas 2019. Morelia, México. www.divu.mx Con el apoyo de:



Si el planeta Venus fuera más frío tendría lluvias y mares de ácido sulfúrico. Se trata de un ácido mineral proveniente del elemento químico **azufre**, y aunque no estamos familiarizados con esta sustancia, es la materia prima de casi todo lo que se encuentra a nuestro alrededor: fertilizantes, pinturas, medicamentos, plásticos, baterías, materiales varios.

El azufre y el **oxígeno** son elementos químicos bastante comunes en el Universo y es por eso que el ácido sulfúrico puede encontrarse en muchos planetas, fuera y dentro del sistema solar, como por ejemplo, en Venus.

Venus puede ser interpretada como una hermosa mujer, sí, pero también como el *lucífero* de la mañana.

Poca afortunada combinación que sirve de excusa para hablar de los feminicidios y de la persistente violencia de género que vivimos en nuestro país. Recientemente han aumentado los ataques con ácido sulfúrico; cuya finalidad no es matar, sino humillar y someter a las mujeres: *“si tu belleza no es mía, no será de nadie”*.

El espejo de Venus es símbolo de vanidad, símbolo alquímico del **cobre** y símbolo astronómico del planeta Venus (con todo y sus densas nubes de ácido sulfúrico).

Instrucciones:

En el pasado, la alquimia reconocía cuatro “elementos” clásicos de los que todos hemos escuchado:

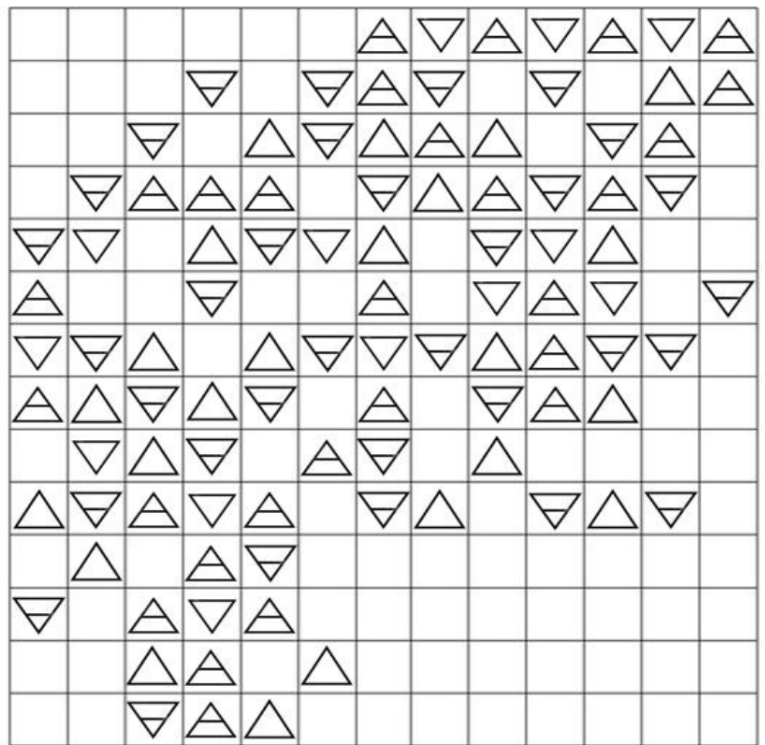


(cada uno con su símbolo).

Actualmente, la química moderna reconoce como elementos químicos únicamente a los que podemos hallar en la Tabla Periódica.

Descubre la figura escondida coloreando (del mismo color) aquellos espacios en los que veas los símbolos alquímicos relacionados con las nubes de ácido sulfúrico del planeta Venus, en este caso, **agua y aire**, y dejando los demás espacios en blanco.

Si realizas esta actividad correctamente aparecerán frente a tus ojos los símbolos alquímicos correspondiente al cobre (que es el símbolo astronómico del planeta Venus) y al azufre (del que se obtiene el ácido sulfúrico).



Material gratuito de **DiVU A.C.** Diversidad, cultura, género, alimentación y ciencia

Noche de las Estrellas 2019. Morelia, México. www.divu.mx Con el apoyo de:



Selene (la Luna) dio nombre al elemento químico **selenio**, que puede hallarse en suplementos alimenticios y vitaminas, como un falso tratamiento milagro para la diabetes, cáncer y tantos otros males.

Está presente en el cuerpo humano y también está presente en la tecnología. Por ejemplo, las fotocopias que ahora sostienes en las manos fueron posibles gracias al selenio en los tambores de impresión.

Hace casi dos mil años, un pionero en el campo de la Ciencia Ficción, Luciano de Samósata, imaginó la existencia de los ficticios *selenitas*: una raza de habitantes de la **Luna** capaces de reproducirse entre ellos sin ayuda de mujeres.

Instrucciones:

En el pasado, la alquimia reconocía cuatro “elementos” clásicos de los que todos hemos escuchado:

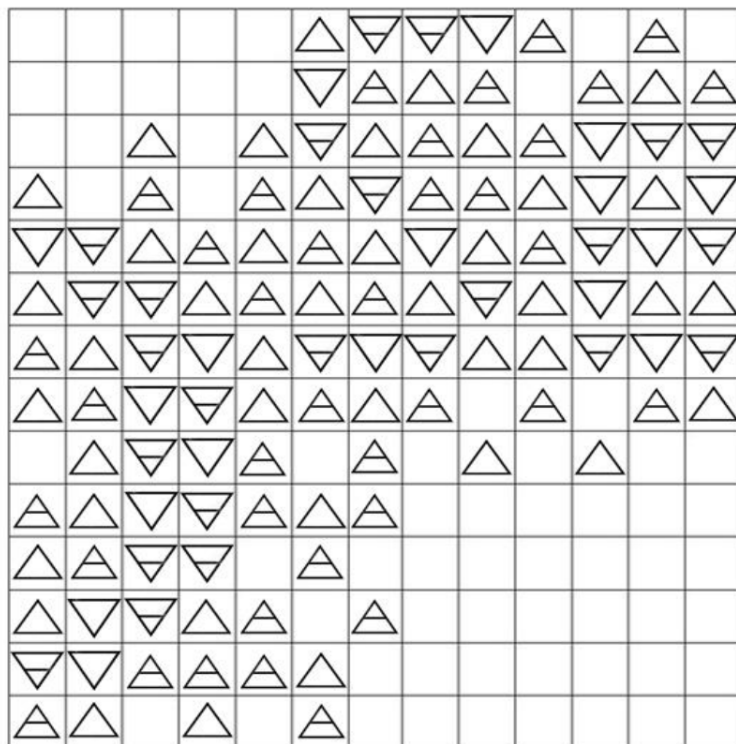


(cada uno con su símbolo).

Actualmente, la química moderna reconoce como elementos químicos únicamente a los que podemos hallar en la Tabla Periódica.

Descubre la figura escondida coloreando (del mismo color) aquellos espacios en los que veas los símbolos alquímicos relacionados con la Luna y el selenio, en este caso, **tierra** y **agua**, y dejando los demás espacios en blanco.

Si realizas esta actividad correctamente aparecerán frente a tus ojos el símbolo alquímico de la plata (que es también el símbolo astronómico de la Luna) y el símbolo químico moderno del selenio.



Material gratuito de **DiVU A.C.** Diversidad, cultura, género, alimentación y ciencia   

Noche de las Estrellas 2019. Morelia, México. www.divu.mx Con el apoyo de:



El helio es el primer *elemento químico extraterrestre*, por así llamarlo, pues por más de una década se pensó que solo existía en el espacio exterior, especialmente en el **Sol**.

La realidad es que el helio siempre estuvo entre nosotros, presente, aquí en la Tierra. Invisibilizado, puesto que, al ser química inerte es incapaz de reaccionar químicamente con cualquier otro elemento (bajo condiciones ordinarias).

Cuando se aisló hace casi 125 años pensábamos que se trataba de algo sumamente escaso, pero poco tiempo después nos dimos cuenta de su abundancia y diversidad al hallarlo en casi todos lados: muestras radioactivas, reservas de petróleo, emisiones volcánicas...

En muy poco tiempo comenzamos a hallarle aplicaciones prácticas, más allá de los globos de **helio**, y actualmente es indispensable dentro de los equipos de Resonancia Magnética Nuclear utilizados en investigación y para realizar tomografías médicas.

No por ignorar una parte del Universo dejará de existir, la disidencia, las *minorías* y los grupos vulnerables están más cerca de lo que pensamos.

Instrucciones:

En el pasado, la alquimia reconocía cuatro “elementos” clásicos de los que todos hemos escuchado:

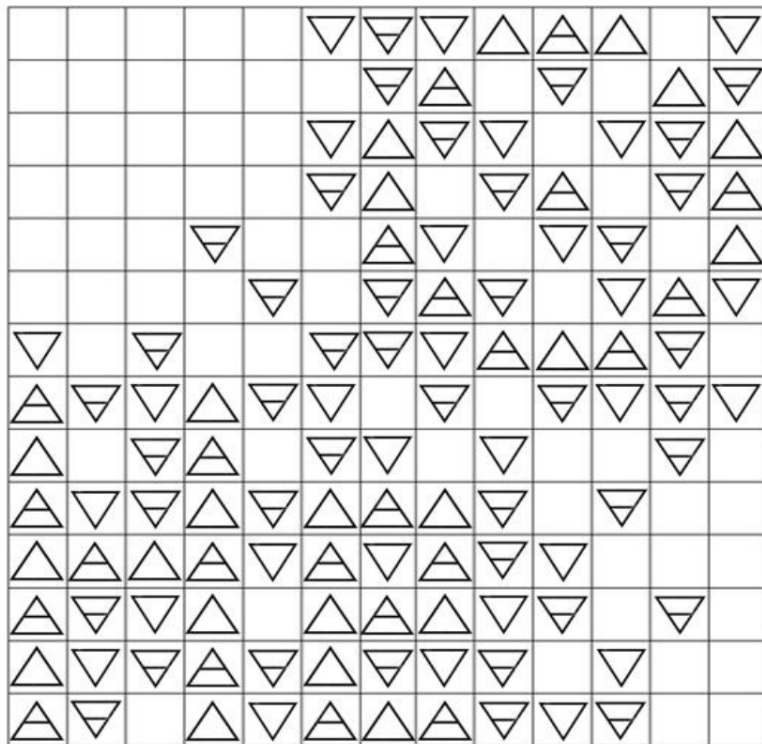


(cada uno con su símbolo).

Actualmente, la química moderna reconoce como elementos químicos únicamente a los que podemos hallar en la Tabla Periódica.

Descubre la figura escondida coloreando (del mismo color) aquellos espacios en los que veas los símbolos alquímicos relacionados con el Sol y el helio, en este caso, **aire** y **fuego**, y dejando los demás espacios en blanco.

Si realizas esta actividad correctamente aparecerán frente a tus ojos el símbolo químico moderno del Helio y el símbolo alquímico del oro (que es también el símbolo astronómico del Sol).



Material gratuito de **DiVU A.C.** Diversidad, cultura, género, alimentación y ciencia   

Noche de las Estrellas 2019. Morelia, México. www.divu.mx Con el apoyo de:



