



Theodore Maiman presentando el diminuto láser el 16 de mayo de 1960. La presentación oficial ocurrió el 7 de julio en Hughes Research Laboratories.

50 años del Láser

50 años de éxitos sin precedentes. Terminar el XFEL, y sobre todo el NIF, es la próxima meta. La estrella artificial láser del Grantecan mejora mucho la resolución del telescopio de 10m de diámetro.

Cuando el 16 de mayo de 1960, Theodore Maiman presentó el primer Láser en los Laboratorios Hughes, con los primeros pulsos de luz coherente producidos con un cristal de rubí, no se imaginaba que el láser se convertiría en un gran instrumento de la física y tendría innumerables aplicaciones en el arte y en la vida ordinaria.

La palabra Láser significa Amplificación de luz por emisión estimulada de radiación. La emisión estimulada, base de la generación del láser, se produce

cuando un átomo, en estado excitado, recibe un impulso externo que lo lleva a emitir fotones y así retornar a un estado menos excitado. El estímulo proviene de la llegada de un fotón, con energía similar a la diferencia de energía entre dos estados. Los fotones así emitidos por el átomo estimulado, poseen fase, energía y dirección similares a las del fotón externo que les dio origen. Esa emisión estimulada no sólo produce luz coherente y monocroma, sino que también amplifica la emisión



Pasqual Bolufer

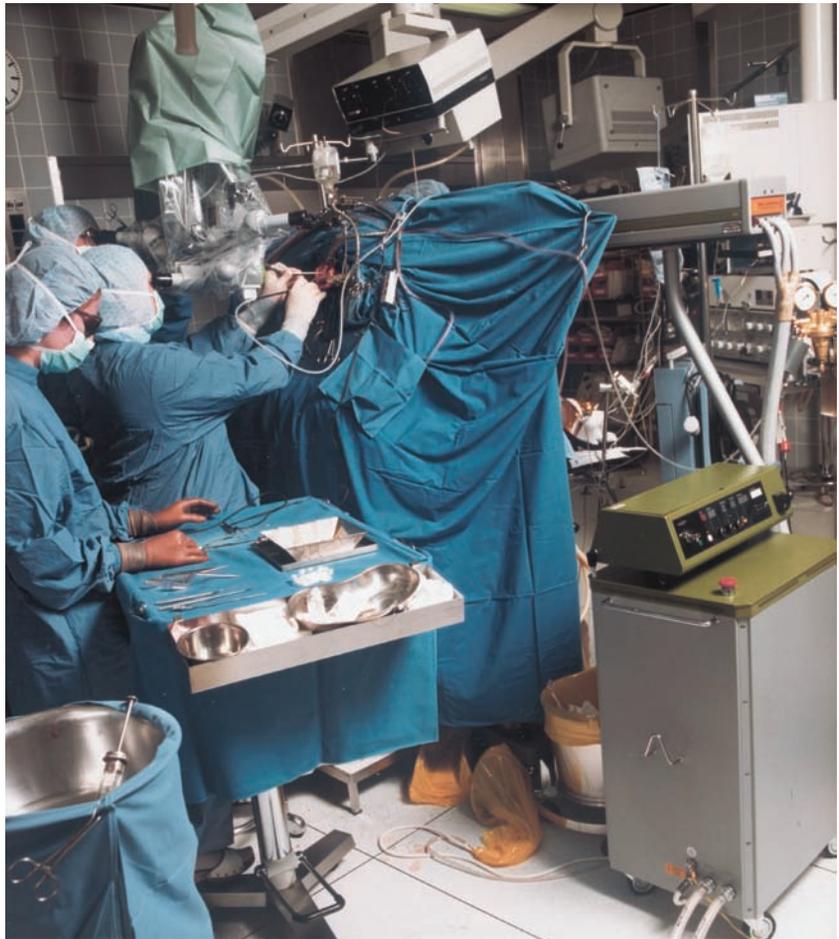
Físico

Instituto Químico de Sarriá

de luz, ya que por cada fotón que incide sobre un átomo excitado se genera otro fotón.

El láser de rubí posee 3 niveles energéticos: el 0 (nivel fundamental), el Nivel 1 (metaestable) y el Nivel 2 (metaestable). Para lograr que funcione, hace falta que la mayoría de átomos se encuentren a un nivel superior al 0, *fundamental*. A esa condición se le llama *Inversión de la población*. El cristal de rubí se somete a una intensa radiación de luz que contiene energía en las longitudes de onda verde y azul. Esto excita a los átomos del estado fundamental a subir a las bandas de niveles energéticos metaestables. Desde estos niveles descienden a un nivel metaestable inferior sin radiar luz (transición no radiativa). Desde este nivel metaestable *caen* al nivel 0 fundamental con emisión de la luz Láser. El láser de Rubí, como hemos dicho, es un láser a 3 niveles. Para mantener la inversión de la población los átomos son bombeados ópticamente hasta niveles de mayor energía.

Th.Maiman tenía 32 años de edad en 1960, un ingeniero que se convirtió en físico. La barra de rubí que él empleó tenía unos pocos centímetros de longitud y estaba rodeada de un tubo helicoidal de descarga gaseosa que emitía un amplio espectro de luz con pulsos de unos milisegundos. Los extremos de la barra de rubí eran planos y perpendiculares al eje de la barra. El rubí es un cristal transparente de óxido aluminico, dopado con una pequeña cantidad de cromo (0.05%). El rubí aparece rojo, porque los iones de Cromo (Cr^{3+}) poseen intensas bandas de absorción en las regiones verde y azul del espectro. Los iones de Cromo absorben fotones de la lámpara de descarga, abandonan el nivel fundamental 0, y ascienden a niveles energéticos superiores, un nivel que corresponde a 1.79 eV sobre el nivel fundamental. El tiempo medio que un ion Cromo permanece en ese nivel elevado es de unos 5 mili –segundos, un tiempo largo para un proceso atómico. Eso significa que se ha invertido la población, y el láser funcionará con una longitud de onda de 694.3 nm (color rojo). Esos fotones tienen energía suficiente para estimular a otros iones de Cromo desde el nivel fundamental,



En el quirófano, el haz muy estrecho de láser se emplea en neurocirugía, para destruir una neurona degenerada, sin afectar a la neurona vecina sana. Se trabaja con microscopio. El cerebro humano tiene 100.000 millones de neuronas. En el siglo XIX Santiago Ramón y Cajal estudió especialmente la sinapsis, la unión entre dos neuronas.

los cuales por absorción de luz hacen la transición a niveles metaestables. La intensidad de luz láser aumenta, y la inversión de población se mantiene. El diámetro del haz láser es de 1 mm.

Th.Maiman tuvo éxito porque en el láser de rubí a 3 niveles energéticos, la inversión de la población es difícil de alcanzar. Deben excitarse más de la mitad de los átomos del Nivel Fundamental.

He-Ne, el láser de 4 niveles

En el mismo año 1960 se estudió la creación de un láser más fácil y apareció el de 4 niveles, el láser de gas Helio-Neon. En él la inversión de la población es sencilla. En el láser de Rubí el átomo estimulado decae al nivel 0, genera la luz láser mientras que, en el láser de 4 niveles, el átomo estimulado decae emitiendo luz láser a un nivel energético inferior; también estimulado, pero no es el nivel fundamental 0.

Los átomos de Ne tienen 2 niveles energéticos sobre el fundamental, a 18.70 eV y a 22.66 eV. Los átomos de He estimulados, con descarga eléctrica, a 20.61 eV, colisionan con átomos de Ne, les comunican una energía mínima de 0.05 eV, y el átomo de Ne alcanza 20.66 eV. Como el nivel energético de 22.66 eV suele estar vacío, llenarlo con átomos de Ne es fácil, y la inversión de población se mantiene con facilidad. El láser He-Ne es un tubo de gas con 15% de He y 85% de Ne. En un extremo del tubo hay un espejo reflector, y en el otro extremo hay otro espejo casi totalmente reflector, por donde sale el láser. La luz es coherente, un haz muy estrecho e intenso, con una longitud de onda de 633 nm, rojiza.

En 1964 apareció el láser de CO_2 , con potencias de centenares de vatios, desde entonces indispensable para cortar metales. 10 años después del láser

de rubí, el láser He-Ne se hizo necesario para escanear el Código de Barras, contribuyendo a un ingente ahorro en la industria y el comercio. A continuación vino el Compact Disc, y comenzó el uso masivo del láser diodo semiconductor. Desde entonces han aparecido muchas clases de láser, siendo el más importante a nivel comercial el láser diodo semiconductor, que se fabrica por millones. Sólo en 2004 se vendieron 733 millones de láseres.

El láser de microondas

Actualmente *láser* es el oscilador que emite desde la banda de rayos X hasta el infrarrojo, éste inclusive. Llamamos *máser* al oscilador que emite en microondas y en la banda inferior. Sin negar méritos a Theodore Maiman, nada hubiera hecho sin el trabajo de los que le precedieron, comenzando con A. Einstein que, en 1916, estableció los

fundamentos para el desarrollo de los máseres y láseres utilizando la radiación de Max Planck, basada en los conceptos de emisión espontánea e inducida de radiación.

Los átomos, en estado excitado, en las condiciones previstas por A. Einstein, pueden amplificar la radiación en la misma frecuencia, y situados en una cavidad resonante, realimentan la radiación, la cual es coherente. Hay varias clases de máseres:

- Los de haz atómico: el de amoníaco y el de hidrógeno.
- Los de gas: vapor de rubidio.
- Los de estado sólido: rubí, del cual celebramos los 50 años.

En 1928 Rudolf Landenburg obtuvo por primera vez la emisión estimulada de radiación. En 1953 Charles H. Townes construye el primer MÁSER. Funcionaba con los mismos principios físicos que el láser, pero produce un

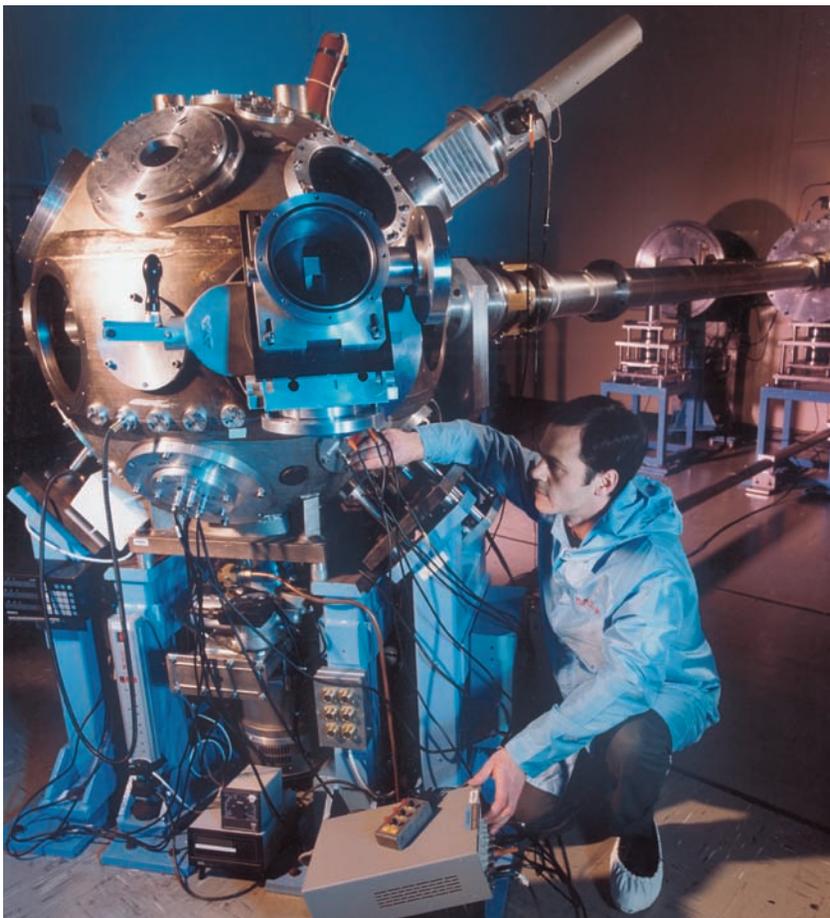
haz coherente de microondas. El Máser de H. Townes era incapaz de funcionar en continuo. Era un máser que hoy llamamos *de amoníaco*. Las moléculas de amoníaco producen microondas en la frecuencia de 24 gigahertzios. A Charles H. Townes le ayudaron dos científicos rusos, Nikolái Bázov y Aleksandr Prójorov, que trabajaron independientemente en el oscilador cuántico, y resolvieron el problema de obtener un máser de salida de luz continua usando sistemas con más de dos niveles de energía. En 1957 le llamaron *Optical Maser*, un nombre que no prosperó.

Townes, Bázov y Prójorov fueron recompensados con el Premio Nobel de Física en 1964 por "Los trabajos fundamentales en el campo de la electrónica cuántica", los cuales condujeron a la construcción de osciladores y amplificadores basados en principios de máser-láser. Charles Townes, que sigue activo a sus 94 años en la Universidad de Berkeley, California, insiste con pasión en que la historia del láser es el ejemplo típico de proceso que siguen muchos de los grandes descubrimientos científicos: para obtener una fuente de luz el camino adecuado para algunos hubiera sido encargar el trabajo a un experto en bombillas, jamás a uno que se dedicaba a un tema sin aparente relación como la *espectroscopia molecular de microondas*. En la investigación de frontera el camino más corto raramente resulta ser el mejor.

Sigue resultando paradójico que Th. Maiman no obtuviese el Premio Nobel.

El reloj de láser

Los máseres se usan como patrones de frecuencia de una estabilidad extraordinaria, llamados también relojes atómicos. El TAI (*Temps Atomique International*) es un estándar atómico de alta precisión para medir el tiempo propio de un cuerpo geoi-de con un reloj atómico. TAI significa que por vez primera la unidad de tiempo, el segundo, no está ligada a un fenómeno astronómico. El Tiempo Medio de Greenwich (TMG), o Tiempo Universal (TU), se denominan ahora UTC (Tiempo Universal



1997 en el Rutherford Appleton Laboratory, Oxford, Inglaterra, ensayan con un láser de gran potencia, de fluoruro de kriptón, de luz ultravioleta (268 nm). Opera con impulsos y con el modo Raman, con potencia de 3 teravatios. En la foto un técnico manipula cerca de la cámara del blanco, adonde penetra el láser de dimensiones mínimas. El láser genera armónicos de la frecuencia óptica, muy elevados.

Coordinado) en el sentido, ya indicado, de que se basan únicamente en el reloj atómico. Para tener los relojes en hora se hace necesario incrementar el UTC en un segundo, es decir intercalar Leap seconds, y ese año dura un segundo más.

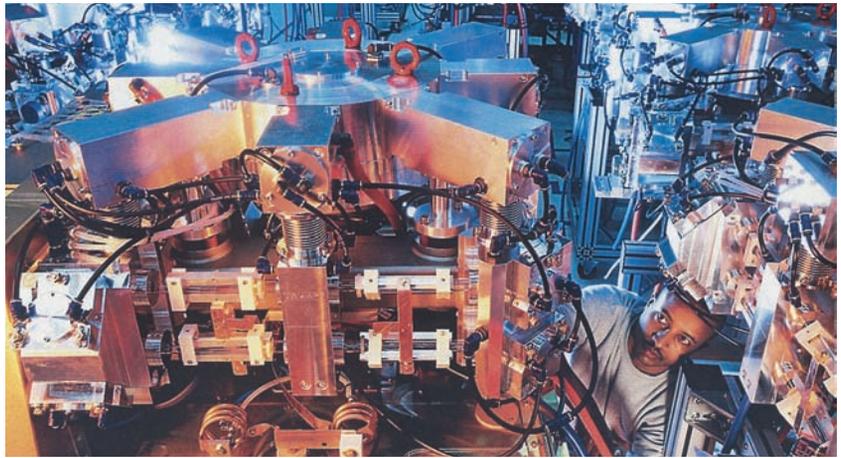
En diciembre de 2005 se añadieron 22 segundos intercalares. El Servicio Internacional de la Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia (IERS) y el Observatorio de París determinaron que el 30 de Junio y el 31 de Diciembre son las fechas adecuadas para añadir o quitar un segundo al año; de acuerdo con este nuevo estándar, un día ya no tiene 24 horas. En el año 1986, por ejemplo, la duración media del día fue de 24,00000034 horas. El tiempo Galileo se mantendrá en un intervalo de ± 50 ns en relación al Tiempo Atómico Internacional.

La estabilidad de la frecuencia determina la precisión en la medición de las distancias, superando la precisión del GPS. La estabilidad de frecuencia de un máser equivale a la de un cronómetro que no varíase más de un segundo en 300 años.

Máser de Hidrógeno desde 1960

La oscilación se basa en la emisión estimulada entre dos niveles hiperfinos del hidrógeno atómico. Primero se somete el gas molecular hidrógeno, a baja presión, a una descarga de radiofrecuencia, con lo que el gas se convierte en hidrógeno atómico. Para conseguir una emisión estimulada es necesario crear una inversión de la población atómica. Después de pasar por un orificio y un campo magnético, muchos átomos del haz alcanzan el nivel alto de energía que corresponde a la transición láser. Desde este nivel los átomos caen a un nivel inferior y emiten radiación microondas.

Un máser de alta calidad confina las microondas y las reinyecta repetidamente en el haz atómico. La emisión estimulada amplifica las microondas en cada paso por la cavidad resonante. La combinación de amplificación y retroalimentación define al oscilador. La frecuencia resonante de la cavidad de microondas se sintoniza exactamente



(Arriba) Láser de anhídrido carbónico de alta precisión en Triunf, Alemania. (Abajo) Grabado con láser de estructuras electrónicas de pocos nanómetros sobre oblea de silicio, para un ordenador.

con la estructura hiperfina del hidrógeno: 1420 405 751.768 Hz.

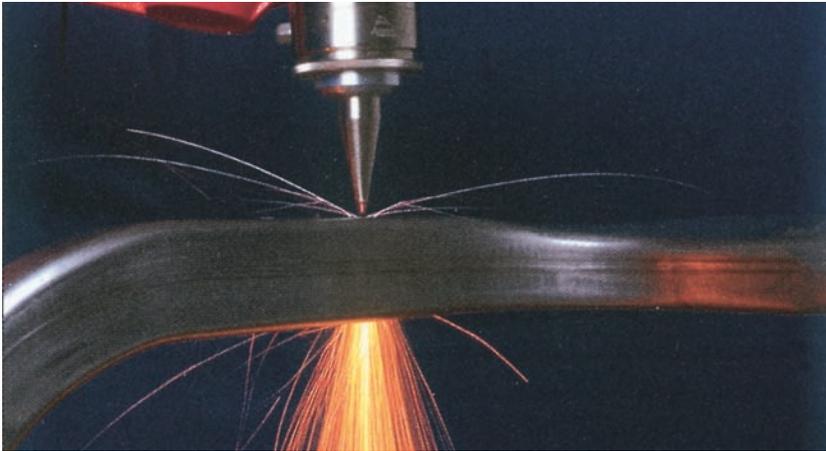
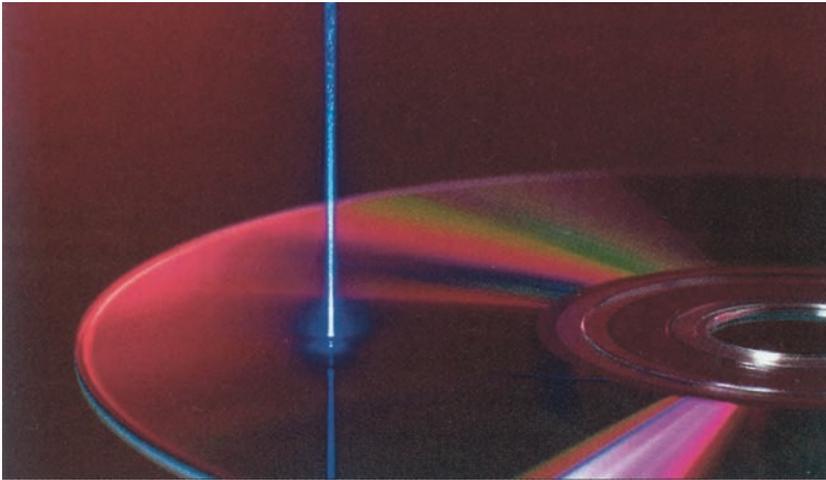
Proyecto Galileo

En Europa el futuro Proyecto Galileo para 2013, competidor del GPS, se basa en máseres de hidrógeno. En 1972 un grupo de estos máseres determinan el *Temps Atomique International*, coordinado por Bureau International de Poids et Mesures.

El Tiempo Galileo se construye alrededor de 4 relojes embarcados en cada satélite: dos relojes atómicos de rubidio y dos masers pasivos de hidrógeno. El *passive hydrogen maser* fue desarrollado en 2001, pesa 18 kg, y tiene la oscilación típica del hidrógeno: 1,420 GHz. Su estabilidad es tal que pierde solo 1 segundo en un millón de años. Dicho de otra forma: la exactitud de los máseres-reloj es del orden del microsegundo por año.

En el Proyecto Galileo, a nivel del suelo hay una red de máseres de cesio y de hidrógeno (activos), que dan un Tiempo de Referencia más preciso que el de los satélites. Hay un acuerdo firmado con EE.UU. para sincronizar el Tiempo GPS con el Tiempo Galileo. Ambos Tiempos pueden ser diferentes, por ejemplo: 1 o 10 microsegundos, pero debe conocerse esa separación con una precisión del orden de 5ns.

La extraordinaria precisión del máser-reloj posibilita que se redefina el segundo: un segundo es la duración de 9.192.631,770 períodos de la radiación emitida en la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de cesio 133, a nivel del mar y con campo magnético cero. La señal de microondas que emite el máser es muy débil: unos pocos pW, pero es extremadamente estable.



(Arriba) Exploración con láser de los bits de un disco Blu-ray. (Abajo) Un láser dopado con iterbio corta un grueso disco metálico.

Para un reloj máser de hidrógeno la estabilidad es de 1 nanosegundo por día. Un receptor coherente, con oscilador de cuarzo de alta calidad, amplifica la señal y cambia la frecuencia.

El rayo de la muerte

Sorprendió incluso a Th.Maiman que, ya en 1960, al láser le llamaran "el rayo de la muerte" aunque pasaron 20 años hasta que se pensase en su utilización militar. En la época de la Guerra Fría, con Ronald Reagan como presidente de los Estados Unidos, el Pentágono buscó nuevas armas antes de aparecer el láser de CO₂. Hay láseres de CO₂ de 1 kW, pero el volumen y peso es excesivo para el Ejército. En 1980 apareció el láser químico, con potencia de megavatios, pero resultó demasiado pesado. Y lo que es peor, la absorción atmosférica impedía alcanzar blancos lejanos.

En 2010 el láser químico es ya operativo. Un láser embarcado en un Boeing

747-400F, de la Fuerza Aérea de EE.UU. ha destruido un misil Scud en el litoral de California. El Scud presenta muchas versiones, tiene 11.4 m de longitud, 80 cms de diámetro, un peso entre 5.000 y 6.000 kg y puede lanzar una bomba nuclear con un alcance de unos 300 kms. El láser, desde el espacio, podría destruir misiles balísticos enemigos antes de su reentrada en la atmósfera.

Ronald Reagan en 1983 propuso la Strategic Defense Initiative, y todo el mundo tuvo en mente la película Star Wars, pero el plan no se realizó. Desde 1990, con la desaparición de la Unión Soviética, el láser militar se convierte en un arma menor, con un alcance de centenares de kilómetros dentro de la atmósfera.

En febrero de 2010 un jumbo B747 destruyó, a distancia de 140 kilómetros, un misil disparado. En EE.UU. se cuenta con el láser de distancias pequeñas para destruir misiles, morteros

y balas de cañón. Es un B747 equipado con un láser yodo-oxígeno, químico, de 1 MW de potencia y con un peso excesivo para su potencia.

En mayo de 2010 EE.UU. ha empleado aviones no tripulados con bombas de 274 kg guiadas por láser. La misión de iluminar, señalar, requiere poca potencia en el láser y Textron System ha probado, en febrero de este año, un láser de estado sólido de menor peso.

El sonido y la imagen

El láser domina totalmente el mundo de la comunicación, comenzando por el sonido: como el láser controla la luz, las ondas sonoras se pueden registrar en forma digital, de tamaño mínimo y con gran fidelidad. Desde 1970 Sony y Philips registran música y canto en código digital, el popular Compact Disc, de 12 cms de diámetro. Los bits digitales están representados en huecos micrométricos, grabados en el plástico. Para reproducir el CD se escanea con el láser diodo. La calidad supera todo lo anterior conocido. El primer CD se editó en 1982.

A mediados 1990 surgieron los DVD, con capacidad para 74 minutos de música e imágenes, que permiten ver una película.

En 2009 hacen su aparición los Blu-Ray disc (BD), que pueden contener hasta 50 gigabytes y permiten ver la película en alta resolución. La diferencia entre estos formatos es la longitud de onda del láser para grabar y leer: 780 nm para el CD, 650 nm para el DVD y 405 nm para el BD. La longitud de onda más corta produce puntos de menor difracción, lo cual permite almacenar más datos en menor espacio. El aumento de ventas del Blu-Ray Disc ha producido una disminución de ventas de CDs del 27%, como era de esperar. El láser sigue dominando el mundo del entretenimiento.

En Medicina

Sólo un año después de la aparición del láser, en 1961, en el Centro Médico de la Universidad de Columbia, New York, con láser de rubí se destruyó un tumor en la retina de un paciente basándose en que el láser puede penetrar el ojo sin causar daño alguno. No tardó

en surgir el láser de CO_2 , y otros tipos con diversas longitudes de onda, potencias y ritmo de pulsos, que el médico puede utilizar para vaporizar tejidos y para cortar, quedando al mismo tiempo la herida cauterizada por el calor del láser.

Cabe destacar el LASIK, para tratar la queratomileusis (keratomileusis), alteración de la refracción de la córnea. Aquí el láser deforma la córnea y la corta para corregir un defecto de visión. Sólo en 2007, 17 millones de personas en todo el mundo fueron operados con el LASIK.

En dermatología el láser se usa de forma rutinaria para tratar tumores de piel benignos y malignos, y para borrar tatuajes. En tumores inaccesibles del cerebro, el láser penetra gracias a la fibra óptica. También puede desobstruir trompas de Falopio, así como tratar discos de columna herniados que causan dolor en la parte baja de la columna vertebral.

Fusión inercial nuclear

Actualmente se está intentando con láseres ultravioleta de la máxima potencia en National Ignition Facility (NIF) en el laboratorio Lawrence Livermore, California. En la superficie interior de una gran esfera, 192 láseres apuntan a un blanco central, milimétrico, de los isótopos de Hidrógeno deuterio y tritio. La duración del pulso es de una milmillonésima de segundo. Los franceses, para el Mégajoule de 2011, han diseñado un impulso más largo.

Con el NIF los americanos aspiran a producir energía igual que el sol. Es el competidor del ITER magnético europeo, de Cadarache, dos caminos para llegar a una misma meta.

El día 1 de abril de 2009, EE.UU. presentó en California el láser más potente del mundo, el NIF. Cuando esté completo, tal vez este próximo otoño de 2010, 192 haces de láser ultravioleta concentrarán sobre el *pellet* (deuterio y tritio) un pulso de 351 nm (ultravioleta) y 1.8 MJ. El láser ultravioleta no colisiona directamente con el *pellet*, sino con las paredes de una cámara minúscula, las cuales, con el calor del impacto, generan rayos X y con ello la fusión nuclear.

Se trata de crear las condiciones de presión-temperatura de un núcleo estelar; como el sol, e iniciar la fusión nuclear. En 1952, el día 1 de noviembre, en Eniwetok, EE.UU. se logró la *fisión nuclear*; la explosión de la primera bomba atómica. Ahora es se busca la fusión, mucho más difícil.

El deuterio y tritio se funden para crear helio. Con ello se obtendría una fuente inagotable de energía no contaminante. El NIF debe aportar una potencia de 1.8 MW cuando, de hecho, escasamente alcanza 1.3 MW en 2010. Hay que esperar. Suministrar energía es necesario porque ambos isótopos tienen carga positiva y se repelen electrostáticamente. Hay que superar la barrera de *Coulomb* y se oponen a la fusión. Supone una temperatura de 100 millones de grados.

El NIF ha costado \$3.500 millones y esperamos que algún día generará una fuente inagotable de energía, que nos libre de la energía generada por el carbón, ya que el hidrógeno, con sus isótopos deuterio y tritio, es inagotable como el agua.

El Sol un reactor de fusión nuclear

En 1938 Hans Bethe se hizo esta pregunta: ¿por qué el sol no se apaga? Una hoguera que dura siglos y milenios. ¿De dónde saca la energía? Sorprendentemente podemos contestar porque nosotros, desde el planeta Tierra, podemos observar el interior solar; su núcleo, gracias a los neutrinos: el sol es una esfera, de gas hidrógeno principalmente, en el interior de otra esfera de mayor radio, su atmósfera, de gas helio. Es fácil intuir que el hidrógeno genera gran cantidad de energía al convertirse en helio. El único proceso capaz de generar energía por el Sol es la conversión de masa en energía mediante procesos de fusión nuclear. Consiste en la fusión de deuterio ($1p\ 1n\ 1e$) y tritio ($1p\ 2n\ 1e$) con resultado de 1 partícula alfa ($2p\ 2n + 3.5\ \text{MeV}$) y $1n + 14.1\ \text{MeV}$. La energía liberada equivale a 0.7% de la masa inercial. Para calcular la energía generada se usa la conocida ecuación de A.Einstein: $E=mc^2$: Cada gramo de hidrógeno produce unos 173.000 kWh

mientras que la combustión de un gramo de leña de un Cromagnon en su cueva producía solo 18.000 Julios.

El Mégajoule

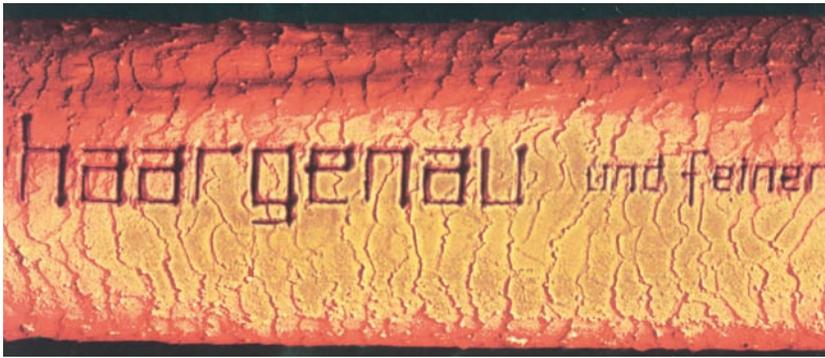
En Francia se está intentando lo mismo que en EE.UU. con el NIF: el reactor estará en Aquitania, Barp-Gironde, terminado en 2011. 240 haces láser ultravioleta (351 nm) que rendirán 1.8 MJ, el mismo objetivo en potencia que EE.UU., dentro de una esfera de 140 Tm. Sólo que el impulso será más largo, algo más de 1/1000-9seg.

La estrella láser

En astronomía ha sido un éxito, sobre todo para los telescopios grandes de 8-10m de diámetro (Grantecan, el Telescopio de Canarias, 10m). La turbulencia atmosférica estorba la visión precisa (Newton ya se quejaba de ella y deseaba un telescopio en la cima de un monte muy alto). Las capas de aire caliente y frío deforman el rayo óptico y la solución adoptada ha sido insertar en el camino óptico del telescopio un espejo deformable, sostenido por un conjunto de actuadores, controlados con un ordenador.

El espejo necesita en el campo estelar una estrella de referencia, un haz de láser disparado por el astrónomo. El análisis del aspecto de la estrella artificial permite evaluar en tiempo real las perturbaciones a que está sometida la imagen. El ordenador reacciona muchas veces por segundo, con comandos que actúan a su vez sobre el espejo deformable, el cual adopta una forma que compensa los defectos de la imagen.

El sistema usa como estrella una natural de referencia, o un láser; una estrella artificial, que atraviesa las capas de la atmósfera en la dirección a que apunta el telescopio. El observador del gran telescopio observa la estrella artificial al lado del objeto celeste que desea estudiar. Debe haber poca separación entre la estrella láser y el objeto celeste en estudio (sólo algunos minutos de arco). El espejo deformable mejora mucho la calidad del telescopio, aumentando en ocasiones el poder de resolución hasta 40 veces. De poco sirve tener un espejo de



Escritura con láser excímero de fluoruro de argón (ultravioleta de 193 nm) sobre un cabello humano, de un espesor de 123 micras: "cabello auténtico" y "menor tamaño".

10m de diámetro si no se dispone de la estrella láser y el pequeño espejo deformable con sus actuadores. El éxito es mayor si se observa en el infrarrojo. Hay telescopios terrestres que han logrado una resolución igual y aun superior a la del Hubble Space telescope en órbita.

Arte y espectáculo

Recordamos aquí la exhibición del Museo Guggenheim (Bilbao) en 2004 *Quantum Field X3*, del artista japonés Hiro Yamagata, en la que se emplearon láseres de potencia media, ni los del NIF, ni los del CD, aptos para el arte y la diversión. La primera exhibición fue en 1969 en el Museo de Arte de Cincinnati. En 1970 el artista Bruce Nauman construyó un holograma en Finch College Museum of Art, de New York y ese mismo año, en la Expo mundial de Osaka, en los conciertos de rock y en los planetarios, los visitantes se asombraban al ver exhibiciones espectaculares con efectos láser, a veces al aire libre.

En 1971 se proyectó una imagen con rayos láser en el County Museum of Art (Los Angeles) y en 2008, Hope Street Project unió dos catedrales de Liverpool con un rayo láser verde, muy visible, y otros rayos no visibles, que transportaban voces, imágenes y música ambiental entre ambas catedrales.

El láser del siglo XXI

Cómo serán los nuevos láseres está clarísimo: pulsos más cortos y mayor potencia. Por citar un ejemplo, "Physics World" May 2010, del Institute of Physics, Bristol, Inglaterra. Hay coincidencia entre autores, principalmente "Where

next for the laser?" pág.53-56, en donde seis expertos exponen el tema.

Al acortar el pulso aumenta la potencia, pudiendo llegar no sólo al femtosegundo, sino también al attosegundo. A partir de un modesto pulso del 1ms, se puede generar una potencia nunca antes alcanzada.

El límite Schwinger es de $10 \text{ W}^{29} \text{ cm}^{-2}$, siete órdenes de magnitud mayor que el láser más potente actual. Pero en Europa está en marcha el Proyecto "Extreme Light Infrastructure" (ELI), que podrá alcanzar el nivel $10^{25} \text{ W cm}^{-2}$, según opinión de Manuel Hegelich, Director del Departamento de láseres de pulso corto de Los Alamos National Laboratory, New México.

ELI es un láser de gran intensidad y pulsos muy cortos, diseñado por el físico francés Gérard Mourou, que se construirá en Praga en 2012, y más tarde en Magurele, (Bucarest, Rumania), y Zeged (Hungria), aunque se producirán retrasos por la crisis económica actual.

Los avances en nanotecnología repercutirán en el láser e intentarán superar, si pueden, el éxito de los primeros 50 años. Los pulsos de femto segundo (10^{-15} seg) y atto segundo (10^{-18} seg), son necesarios para estudiar procesos atómicos en la óptica no lineal, y quizás también para comprender cómo la célula humana se transforma en maligna.

Los láseres muy rápidos se han usado mucho para el micromecanizado, porque ningún material puede soportar la intensidad de un pulso de femtosegundo. Se requiere muy poca energía para lograr gran intensidad, y sólo se corta un material muy pequeño con cada pulso. Así se logra un corte de gran precisión.

Es la misma cualidad que se emplea

en la cirugía ocular: El pulso ultrarrápido entrega la cantidad exacta de energía que se necesita, para romper uniones de proteínas en el ojo, sin afectar al tejido cercano.

En el proceso llamado amplificación paramétrica, la respuesta no lineal de ciertos cristales transparentes se emplea para cambiar la frecuencia óptica. Los pulsos de femtosegundo de la amplificación paramétrica se pueden emplear para transferir la luz de una frecuencia a una banda ancha de otras frecuencias.

Esa luz fría, o casi fría, láser, ha encontrado aplicaciones sin fin, desde la supresión del vello en cosmética, fotodepilación, hasta los misiles. 50 años de éxitos sin precedentes.

Hay programas multimillonarios en curso y si se logra la fusión nuclear con láser nos habrá dado una fuente inagotable de energía. La energía de todo el Universo es en gran parte de fusión nuclear. En este planeta también ha de ser posible.

En física, el láser ha sido un gran éxito: se enfrían átomos, se envían datos, se corrige la visión humana, se afinan las imágenes astronómicas y se sondea la molécula individual de ADN. Tal vez se lleguen a detectar ondas gravitatorias.

Hasta 14 científicos han logrado el Premio Nobel con trabajos relacionados con el láser y pese a ser utilizado por el ejército y destruir a distancia misiles, tiene buena imagen ante el gran público.

Esta historia, que tiene ya 50 años, no ha terminado. ■

Referencias

- Altarelli, M. *The Free X-Ray electron laser laboratory*. DESY 2007.
- Feldhaus, J. *Development of Fels as user facilities*. DESY 2007.
- Heller, A. *The world's most powerful laser*. *Science and Technology Review*. LInl 2005.
- Hecht, J. *The race to make the Laser*. Oxford University Press. 2005.
- Maiman, Th. *Stimulated optical radiation in ruby*. *Nature*, vol.187, num.4736, pág. 493 (1960).
- Townes, Ch. *The first laser*. University of Chicago. Retrieved 2008.
- Tyrell, J. *Diode lasers get fundamental push to higher power*. *Optics.org*. 2006.