

bodas de plata del láser

El 15 del pasado mayo se cumplió el 25^o aniversario del descubrimiento del láser, abriendo una nueva era en la Ciencia y la Tecnología.

El presente artículo presenta una síntesis de la historia del láser, desde su aparición en citas de Plinio y Cátulo, hasta los textos científicos de nuestros días. Tras sumarizar los diversos tipos de láser actualmente disponibles y su uso, expone una panorámica sobre los posibles campos de utilización futura.

J.A. Martín-Pereda

25 YEARS OF LASER: Celebrating its silver anniversary

In this paper, a short review to the laser history is presented. After some antecedents, taken from Literature and Science, its first steps are reported. Main types and uses follow. The paper concludes with a panoramic view of its possible future.

INTRODUCCION

El 15 de mayo de 1960, en el recién creado Departamento de Física Atómica de los Laboratorios de Investigación de Hughes, en Malibu, California, la aparición de los primeros destellos de una radiación de color rojo, altamente direccional, marcó el inicio, primero, de una nueva era dentro del campo de la física, y de toda la ciencia y la tecnología, después. A pesar de que algunas opiniones no están absolutamente de acuerdo, sobre todo en el sector de la industria, la impresión más generalmente aceptada es que esa fecha puede considerarse como la del nacimiento del láser. En este año se cumplen, así, los primeros 25 de su existencia. Se abre la posibilidad de poder mirar hacia atrás, intentando ver qué ha significado su presencia, y al mismo tiempo, tratar de sondear en la bola de cristal del futuro para ver qué nuevas perspectivas se prevén.

En muy contadas ocasiones, un descubrimiento físico, o mejor quizás, un invento de la Física, porque fue invento más que descubrimiento, ha tenido una repercusión semejante, en toda la sociedad, a la que ha tenido el láser. Muy pocas veces, un avance de la ciencia ha calado tan hondo en el vocabulario cotidiano como lo ha hecho la palabra láser. Casi nunca, una realización de la técnica ha tenido una tradición tan larga en la literatura previa como la que presenta el concepto del láser. Y cuando digo literatura me refiero a la Literatura en general, no sólo a la científica, que es a la que sería lógico aludir. Parece como si se hubiera estado esperando su venida durante muchos años y cuando al final hizo su aparición a nadie sorprendió porque era algo que tenía que suceder tarde o temprano.

Desgraciadamente, alrededor del láser hay también una leyenda que, en algunos aspectos, adquiere tintes de convertirse en leyenda negra. La literatura ha sido en buena parte la responsable; cuando decía que el vocabulario habitual tenía a la palabra láser como una más de la jerga común, habría sido necesario también que hubiera agregado los apellidos con los que se la designa: «el rayo de la muerte». Con esos apellidos casi nació y con ellos se ha desarrollado. Y aunque la mayor parte de los científicos serios, entre los que se encuentran casi todos los que le trajeron a la vida, opinan que es una solemne insensatez pensar en él como una de las armas del futuro, una gran parte de los responsables de la política armamentística mundial no opina igual. Seguramente porque han visto desde su juventud muchas películas de invasores extraterrestres armados con pistolas de rayos mortíferos, tratan de conseguir para sus arsenales artefactos equivalentes. Todo ello sigue siendo tan ciencia-ficción como lo era la de los alienígenas. Pero la voz popular lo sigue relacionando con la muerte, aunque sea inocente de toda culpa.

En este artículo se presentará una breve historia de su desarrollo, con los precedentes, tanto literarios como científicos, que le sirvieron de heraldos. Se seguirá con las diferencias entre los distintos tipos existentes, así como con una breve síntesis de sus aplicaciones más significativas. La última parte se dedicará al futuro que se intuye le espera, visto desde una perspectiva totalmente personal. No se presentará apenas nada de su teoría ni de sus principios de funcionamiento porque se suponen ya del dominio común, al menos los que gobiernan los tipos más usuales. Los nuevos desarrollos, fuera ya del concepto clásico, entran ya dentro de otro bloque de ideas. Y, como diría Scheherazade, esa es ya otra historia.

ANTECEDENTES LITERARIOS

Orazio Svelto, en su libro «Principi dei laser», inicia las páginas que dedica a nuestro héroe de hoy con el trozo XXII, 49, de la «Naturae Historiarum», del escritor latino Plinio: «Laser... inter eximia naturae dona numeratum plurimis compositionibus inseritur», cuya traducción aproximada viene a ser: «El láser se encuentra entre los regalos más

milagrosos de la naturaleza y tiene, por sí mismo, una gran variedad de aplicaciones». La palabra láser aparece, en consecuencia, ya en el siglo primero después de Cristo, y en boca de Plinio el viejo, una de las figuras más significativas entre los recopiladores del saber antiguo.

Pero no fue sólo Plinio el que dejó huella en sus escritos de la palabra «láser». Cátulo, el célebre poeta latino de composiciones más o menos subidas de tono, en el segundo tercio del siglo I antes de J.C., dice en su poesía VII: «Quaeris quot mihi basiationes/tuae, Lesbia, sint satis superque./quam magnus numerus Libyssae arenae/Laser piciferis iacet Cyrenis....», o lo que es igual: «Me preguntas cuántos besos tuyos, Lesbia, sería bastante para mí. Tan gran número como las arenas del Líbano, que se extienden por Cirene, rica en Laser....». Desgraciadamente, el trozo anterior no fue tomado por Carl Orf para su «Catuli Carmina» porque de esa manera el láser habría pasado también al campo de la música clásica.

Sería quizás conveniente aclarar que el láser que Svelto encontró en Plinio y el autor de este artículo encontró en Cátulo, no era, evidentemente el «láser» que hoy conocemos. Durante la civilización grecorromana, entre los siglos VI antes de J.C. y II después de J.C., el láser era una planta de la familia de las umbelliferae que crecía en Cirene, hoy Libia, y que, a menudo, se llamaba Laserpitium. Parece que curaba una gran cantidad de males, desde la pleuresía hasta infecciones epidémicas, que servía de antídoto contra el veneno de las serpientes, de los escorpiones y de las flechas del enemigo, y que era el tributo que los cirineos pagaban a los romanos. Hacia el siglo II de nuestra era se extinguió y, según parece, cual ave Fenix, ha resurgido en el XX, pero transformado en algo por completo diferente.

Pasaron los años. A lo largo de ellos, la literatura presentó en innumerables ocasiones armas mortíferas que mediante la aparición de un rayo fulminaban a los amigos o a los enemigos, dependiendo del capítulo en el que aparecieran. Creo que uno de los ejemplos más significativos es el que se presenta en el capítulo sexto de «The war of the worlds», de H.G. Wells. En dicho capítulo, que Wells tituló «The Heat-Ray in the Clobham Road», se describe el arma de destrucción que los marcianos traían a la tierra y que, conceptualmente, tiene casi todos los elementos necesarios para ser un láser de nuestros días. El trozo en cuestión dice lo siguiente: «It is still a matter of wonder how the Martians are able to slay men so swiftly and so silently. Many think that in some way they are able to generate an intense heat in a chamber of practically absolute non-conductivity. This intense heat they project in a parallel beam against any object they choose, by means of a polished parabolic mirror of unknown composition, much as the parabolic mirror of a lighthouse projects a beam of light. But no one has absolutely proved these details. However it is done, it is certain that a beam of heat is the essence of the matter. Heat, and invisible, instead of visible, light. Whatever is combustible flashes into flame at its touch, lead runs like water, it softens iron, cracks and melts glass, and when it falls upon water, incontinently that explodes into steam» (*). Todo ello fue publicado en 1898, esto es, sesenta y dos años antes de la aparición del láser. Como veremos después, prácticamente todo lo que Wells presentó, se convirtió en realidad. El rayo de calor que describe no es sino lo que luego será un láser de infrarrojos.

Muchos otros autores presentaron, antes de 1960, trozos equivalentes. Sería curioso hacer una breve antología de ellos, como parte de la historia del láser. En ella habría que añadir, también, la pistola de rayos de Diego Valor e incluso

los rayos que, en la mitología griega, salían de la mano de Zeus cuando quería aterrar a los mortales.

ANTECEDENTES HISTORICOS

De igual manera a como en los literarios nos habíamos remontado a la época latina para encontrar la palabra láser, un equivalente al concepto de haz láser lo tenemos en una de las teorías de la visión que se desarrollaron en la civilización helénica. Nos referimos a la teoría de la «extramisión», propuesta por Euclides y desarrollada, posteriormente, por Ptolomeo. Según esta teoría, la radiación parte, en forma de rayos, del ojo del observador, llega hasta los objetos que le rodean y, de alguna manera no explicada, retorna al ojo para darle indicación de distancias y colores. Como puede apreciarse, el concepto es idéntico al de los actuales medidores de distancia y velocidad con láser y, en cierta manera, al de algunos tipos de robots, actualmente en desarrollo y en los que está unida la robótica y la fotónica. Dejando a un lado esta pequeña digresión de carácter conceptual, podemos ya pasar a los precedentes reales, esto es, a aquellos sin los cuales no se habría desarrollado en nuestros días el láser. Y sin ninguna duda el primero y más significativo de todos lleva la fecha de 1917, cuando A. Einstein publicó en *Physikalische Zeitschrift* su ya superclásico artículo «Die Quanten Theorie der Strahlung». En él, y con la intención de justificar la fórmula de Planck de la radiación del cuerpo de negro, introdujo el concepto de emisión estimulada. Con ello salía a la luz una nueva forma posible de interacción entre la materia y la radiación electromagnética: aquella por la que si un sistema atómico se encontraba en un estado excitado y llegaba a él una onda electromagnética de la frecuencia adecuada, se podía provocar una desexcitación del sistema con la emisión de una radiación electromagnética por completo análoga a la primera; lograba así una amplificación de características muy peculiares, que respondía al nombre de emisión estimulada. Este concepto, tomado en primer lugar por los físicos teóricos, se asentó firmemente en la década de los 30, más con carácter de ser uno más de los muchos fenómenos existentes en la Naturaleza que con interés práctico. No parecía previsible su aplicación concreta a dispositivos porque, por ejemplo, Pound y Purcell, en Harvard, habían logrado inversión de poblaciones entre niveles atómicos, hecho básico para lograr la emisión estimulada, más el efecto observado era tan débil que no se intuía fuera aprovechable en usos prácticos. Hacía falta algo más para poder llevarla a la realidad. Había que pasar del mundo de la física al mundo de la ingeniería.

Y ese algo lo dio el enorme desarrollo que la Segunda Guerra Mundial propició en el radar. Toda la tecnología que se había desarrollado se pasó a aplicar en muy diferentes campos. Uno de ellos fue la espectroscopia de microondas. Y como dice C. Townes en una reciente entrevista, casi todo

(*) «Es todavía materia de asombro el modo rápido y silencioso con que pueden sembrar la muerte los marcianos. Muchos piensan que son capaces de generar, de alguna manera, un calor muy intenso en una cámara de no conductividad prácticamente absoluta. Ese calor intenso lo proyectan formando un haz paralelo contra el objeto elegido y lo hacen por medio de un espejo parabólico de composición desconocida, de forma análoga a como lo hace el espejo de un faro. Pero nadie lo ha demostrado. Sea como fuere, lo cierto es que consiste esencialmente en un rayo de calor. Calor, e invisible, en lugar de luz visible. Todo lo que es combustible se inflama cuando lo toca, el plomo se derrite como agua, se ablanda el hierro, se quiebra y funde el vidrio y el agua se evapora inmediatamente».

el material necesario para hacer ese tipo de experimentación podía encontrarse, al principio de los cincuenta, en las chatarrerías de las calles de New York. Sólo faltaba poner una serie de ideas juntas, tratando de conseguir algo: el máser.

Dos grupos, de forma absolutamente independiente, lo consiguieron. Uno era el del ya mencionado Charles H. Townes, con Arthur L. Schawlow, en la Universidad de Columbia, de EE.UU. El otro era el de N.G. Basov y A.M. Prokhorov de los laboratorios del Instituto Lebedev, en Moscú. Según parece, se encontraron en el verano de 1954, en una reunión de la Sociedad Faraday, en Cambridge, Inglaterra, y sin conocerse previamente, llegaron a la conclusión de que ambos grupos habían logrado prácticamente lo mismo. La comisión del Premio Nobel así lo debió de estimar también, cuando en 1964, concedió a Townes, Basov y Prokhorov el de Física de ese año. Las palabras de concesión dan idea de sus logros: «por su trabajo fundamental en Electrónica Cuántica que ha dado lugar a la realización de osciladores y amplificadores basados en el principio máser-láser».

Algunos nombres han quedado fuera de estos antecedentes, y parece de justicia mencionarles al menos. Así, si se lee la literatura soviética del tema, surge un nombre poco conocido en Occidente: es el de V.A. Fabrikant. Según parece, al principio de los 40 realizó su tesis sobre inversión de poblaciones y en 1951, el 18 de junio, solicitó una patente con un gran número de ideas muy avanzadas para ese año. Cuando se la concedieron, en 1959, todo había sido ya realizado y él había quedado fuera de juego. Si Basov y Prokhorov aprovecharon o no sus ideas, es algo que no ha trascendido. Quede constancia aquí de su patente, suscrita conjuntamente con M.M. Vudynskii y F.A. Butaeva.

Igualmente, otra controversia es digna de mención aquí. Se había comenzado este artículo haciendo referencia a que en mayo de 1960, en Hughes, se había producido el nacimiento del láser. Theodore H. Maiman, su creador, ganó así, ante la comunidad científica internacional, el prestigio de ser el primero en obtener una radiación óptica coherente. Pero la comunidad industrial no comparte las mismas ideas. Gordon Gould es reputado en muchos sectores como el verdadero creador de las ideas que dieron lugar al láser. La diferencia fundamental estriba en el hecho de que, mientras Townes, Schawlow o Maiman, una vez hechos sus descu-

brimientos, se apresuraron a publicarlos en revistas de prestigio internacional, Gould por el contrario, inventor por vocación, corrió a la oficina de patentes. Y mientras que los desarrollos de los primeros contribuyeron a asentar y difundir la información necesaria entre los científicos de todo el mundo, los del segundo quedaron ocultos. Incluso, habiendo colaborado en algunos proyectos del Departamento de Defensa, fueron rápidamente etiquetados con la palabra «Classified». Desde 1977, fecha en que la patente fundamental de Townes había expirado, hasta hoy el nombre de Gould ha adquirido una relevancia que antaño no tenía. Queda en manos de los tribunales de justicia de EE.UU. aclarar quién es el verdadero descubridor del máser-láser. En cualquier caso, no mucho tiene la comunidad científica que agradecer a Gould. Quizás lo mismo que a Fabrikant.

Y dejemos ya los preludios para entrar en el centro de nuestro objetivo.

NACIMIENTO Y DESARROLLO DEL LASER

Después de la aparición del máser, un gran número de grupos en todo el mundo iniciaron una desenfadada carrera intentando ser los primeros en aumentar la frecuencia de emisión del dispositivo recién nacido, y llevarla desde las microondas hasta las ópticas. Dos temas eran los básicos: encontrar la configuración más idónea y buscar el material más adecuado. Otros requisitos estaban también en la mente de algunos: que el dispositivo fuera lo más compacto y manejable posible y que pudiera trabajar a temperatura ambiente. Entre ellos estaba T.H. Maiman que, además de tener un concepto totalmente ingenieril de la ciencia (en el sentido de lograr lo mejor de la forma más fácil posible) poseía también un alto grado de independencia en sus razonamientos mentales. Gracias a todo ello, y en contra de la opinión general de todos sus colegas, tomó como material base para su estudio el rubí y como sistema de bombeo, lámparas de xenón de tipo comercial. Dado que las que se ajustaban a sus requisitos tenían, de fábrica, forma helicoidal, no tuvo más remedio que introducir al rubí en su interior para conseguir un bombeo adecuado. Y esto en contra de sus proyectos iniciales de situarle en uno de los focos de una configuración elíptica, como se hizo después. A fin de una mayor facilidad de operación tomó la lámpara más pequeña, una GE FT 506, cuyas dimensiones no llegaban a 4 cm de longitud y a 3 cm de diámetro de hélice. El rubí tenía, a su vez, 1 cm de diámetro y 2 cm de longitud, lo necesario para ocupar el hueco interior de la lámpara. Como puede verse, nada espectacular. De hecho, es conocida la anécdota de que cuando la Hughes se dispuso a dar publicidad al descubrimiento, como el láser real era muy poca cosa, se buscó algo más fotogénico. Y se tomó como lámpara una FT 503, algo más grande que la original. Al aparecer ésta en las fotos, los laboratorios que «reprodujeron» al primer láser, lo hicieron con esta última, agotándose las existencias en el mercado en unas pocas semanas. El esquema clásico del primer láser, ampliamente conocido, quedó así en la forma que puede verse en la figura 1. Los espejos, que luego aparecerían en los modelos siguientes fuera del material, son aquí las caras externas de éste, convenientemente pulidas y metalizadas, algo análogo a lo que ocurre en la actualidad con los láseres de semiconductor. Los elementos básicos de todo láser, un material adecuado, un elemento de bombeo y espejos de realimentación formando un resonador Fabry-Perot, estaban ya presentes en este primer láser. Y el

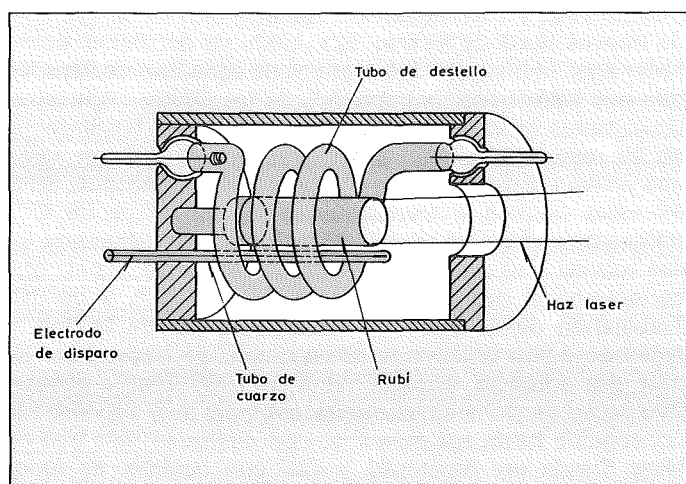


Figura 1. Configuración básica de un láser de rubí, según el esquema del primer desarrollo por Maiman y colaboradores en 1961. El tamaño real es aproximadamente 5 x 2,5 cm.

concepto de funcionamiento también; de una manera esquemática, y como recordatorio, aparece en la figura 2. En ella se encuentran los niveles de energía de los iones de cromo, aproximadamente con la concentración de entre el 0,01 y el 0,5 % en peso, en el rubí. Esa concentración supone algo así como 10^{19} átomos de Cr por centímetro cúbico; lo suficiente como para colorear ligeramente de rosado al rubí. Este esquema se corresponde con un sistema de tres niveles, ya que son solo tres los que intervienen. El

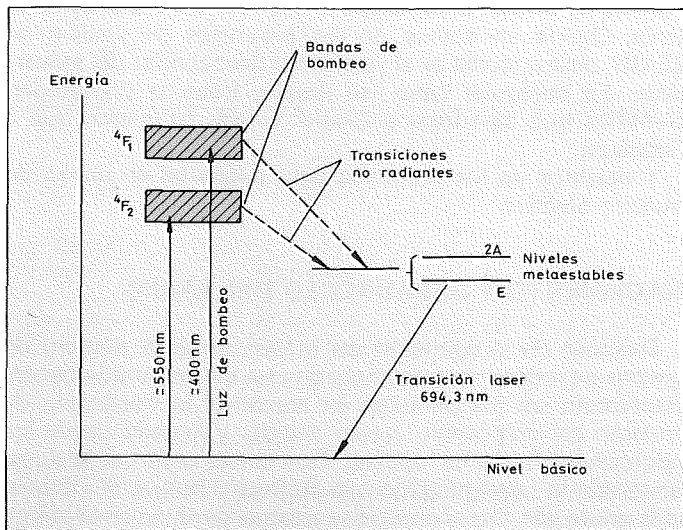


Figura 2. Diagrama esquemático de los niveles energéticos en el rubí que se corresponden con los de bombeo y laseado en una configuración clásica de láser de tres niveles.

bombeo de electrones, mediante la lámpara de xenón, tiene lugar entre el nivel básico y las bandas $4F_1$ y $4F_2$. Este salto es de, aproximadamente, unos 550 nm (verde) y 400 nm (azul-violeta). Los electrones tienen en estas bandas unas vidas medias de alrededor de 100 nanosegundos, cayendo a continuación a los niveles 2A y E, donde, debido a que las vidas son allí como de unos tres milisegundos, se acumulan. Si el bombeo de electrones desde el nivel básico ha sido lo suficientemente intenso, se producirá inversión de poblaciones. Esto es, habrá más electrones en los niveles 2A y E que en el básico, con lo que las condiciones adecuadas para lasear están conseguidas. La transición láser, entre el nivel E y el básico, da lugar a una emisión de 694,3 nm, o lo que es lo mismo, en el rojo profundo. Los espejos en los extremos del rubí realizan la función de realimentar los fotones emitidos espontáneamente en la dirección del eje del láser, con lo que se fomenta la emisión de nuevos fotones, éstos ya estimulados. La amplificación de los primeros fotones iniciales ha dado lugar a una oscilación que puede ser parcialmente recogida en el exterior gracias a que uno de los espejos es parcialmente transmisor. La palabra LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) queda así justificada, y aunque sea volver un poco atrás, hay que indicar que el introductor de la misma fue el ya mencionado Gordon Gould, hecho éste con respecto al que no parece haya controversias.

Prácticamente todos los láseres trabajan en base a los mismos principios. Únicamente pueden cambiar el esquema de tres niveles a otro de cuatro, o dejarlo reducido en dos, como es el caso de los semiconductores. Pero el concepto es siempre el mismo.

Cabría preguntarse ahora, ¿y cuál fue el segundo láser?

Parece que fue un grupo de dos láseres, con materiales basados en tierras raras, y sus autores fueron P. Sorokin y M. Stevenson, de IBM. En noviembre de 1960 obtuvieron uno de uranio y al principio de 1961 otro de samario. Es interesante señalar aquí un hecho curioso: tanto a éstos como a Maiman, les rechazaron sus artículos en Physical Review Letters, con la excusa de que ya tenían bastantes artículos de máseres. A Sorokin y a Stevenson, el editor, cuando les despedía, les recomendó: «Next time, tell your people from IBM not to come down here with machine guns». Sin comentarios. En cualquier caso, ambos láseres, no pasaron de ser curiosidades de laboratorio.

El siguiente láser sí puede considerarse ya de amplia difusión. Fue el de He-Ne, actualmente uno de los más difundidos y cuya emisión en el rojo, en los 632,8 nm constituye hoy, entre otras muchas aplicaciones, uno de los principales animadores de las discotecas. Fue construido a finales de diciembre de 1960 en los Laboratorios Bell y sus artífices fueron Javan, Bennet y Herriot. Aunque ellos lo hicieron lasear en las líneas del infrarrojo, su interés en nuestros días ha sido, como ya hemos dicho, en su tercera línea, la en el rojo.

A partir de ese momento, comenzaron a surgir, en proceso exponencial, nuevos materiales y nuevas técnicas. Entre todos ellos quizás uno de los más significativos fue el de semiconductor. Desde antes de 1960 varios grupos iniciaron sus actividades en este campo. De hecho, en 1957, en Japón, se solicitó ya una patente basada en ellos. El grupo de Basov hizo varias contribuciones teóricas desde 1959 y algunas experimentales en 1961. Pero no fue sino en 1962 cuando los primeros resultados experimentales vieron la luz. El 1 de noviembre aparecieron en Physical Review Letters y en Applied Physics Letters dos artículos dando resultados reales. El primero estaba firmado por R.N. Hall, G.E. Fenner, J.D. Kingsley, T.J. Soltys y R.O. Carlson de General Electric y el segundo por M.I. Nathan, W.P. Dumke, C. Burns, F.H. Dill Jr. y G.J. Lasher del IBM T.J. Watson Research Center en Yorktown Heights. Muy pocos días después, también en Applied Physics Letters, T.M. Quist, R.H. Redikery y R.J. Keyes, de los Lincoln Labs del MIT, publicaron el tercero. En los tres casos, el material era AsGa formando uniones p-n y el bombeo se realizaba con pulsos de corriente de alta intensidad. En todos ellos era obligado un enfriamiento criogénico, incluso trabajando en forma pulsada. A temperatura ambiente y de forma continua no se consiguió que trabajasen hasta ya muy avanzado 1970.

Entre 1963 y 1965 llegaron a aparecer más de un centenar de nuevos tipos de láseres. No puede ya detallarse, como hasta aquí, la historia y los avatares de cada uno de ellos, ya que nos saldríamos, con mucho, de los límites impuestos. Únicamente se señalarán los más significativos basándonos en su repercusión o en su empleo actual. Así, en 1963 aparecieron el de nitrógeno y el primer iónico pulsado. En el 64 estos últimos y, en particular, los de Ar^+ y de Kr^+ , trabajaron en forma continua. Mención especial merecen, en ese mismo año, los trabajos de C. Kumar N. Patel, que condujeron al desarrollo de los láseres de CO_2 y de CO. Trabajando desde 1961 en los laboratorios de la Bell, y teniendo como objetivo la consecución de haces láser de muy alta potencia, hacia la mitad de 1965 llegó a obtener 200 vatios de radiación continua, cantidad muy superior a la conseguida hasta ese momento con cualquier otro tipo de láser. Desde ese momento, y casi con carácter de única estrella, el CO_2 ha sido el candidato favorito para ser empleado en operaciones tales como procesamiento de materiales o terapia médica. Su único competidor en esos campos

ha sido el láser de neodimio, tanto en su versión Nd: YAG como en la Nd: vidrio, y que también fue desarrollado en ese mismo año.

Siguiendo otro camino que los láseres anteriores, en 1960 Polany había propuesto un mecanismo diferente para lograr la inversión de poblaciones. Se basaba en su producción directamente a partir de una reacción química entre varios elementos gaseosos y siendo la energía producida en la misma la que daba lugar a los estados excitados. Su realización práctica se llevó a cabo en 1965, por Pimentel, y desde entonces ha seguido una trayectoria bastante irregular, con altibajos bastante significativos debidos, en su mayor parte, a su interés estratégico.

Queda otro láser importante desarrollado en ese lapso de tiempo. El 7 de febrero de 1966, Sorokin, el mismo que se mencionó antes como autor del segundo láser, consiguió efecto láser trabajando con colorantes orgánicos («dyes» en la terminología anglosajona). Su importancia desde entonces no ha decaído ya que constituye el único tipo que, en la actualidad, es sintonizable dentro de márgenes más o menos amplios. Su papel en investigación y en detección de contaminantes, por ejemplo, es absolutamente primordial.

Otros muchos tipos se desarrollaron desde entonces, por ejemplo, los de excímeros, de gran interés por sus posibilidades en el ultravioleta, o los vibrónicos de estado sólido, por su posibilidad de sintonía en el infrarrojo próximo. Y más recientemente, los de electrones libres que, aunque todavía en fase de desarrollo, puede constituir en el futuro el auténtico láser para todo uso. De ellos hablaremos en el apartado de futuro.

SITUACION ACTUAL: TIPOS, USOS Y MERCADO

Es absolutamente imposible, en un artículo como el presente en el que sólo se pretende rendir un pequeño homenaje a los primeros 25 años del láser, realizar una ni siquiera mediana exposición de los diferentes tipos actualmente en uso, de sus muy diferentes campos de aplicación y del mercado que, a nivel mundial, tienen. Por ello nos restringiremos a presentar una serie de cuadros en los que, de forma sintética, se ofrezca una pequeña panorámica de todo ello. Por otra parte, ni pretenden ser exhaustivos ni, con toda seguridad, serán completos. Son sólo un primer intento de resumir, en poco espacio, la casi enciclopédica variedad existente.

Así, en la figura 3 aparecen los diferentes grandes grupos en que se suelen dividir los láseres. De ellos, sólo los tres primeros, sólidos, gaseosos y líquidos, responden de forma directa al concepto clásico de láser con tres o cuatro niveles. Y ello a pesar de que algunos de los incluidos trabajen más con bandas de energía que con niveles discretos. Este es el caso de todos los líquidos, a base de colorantes orgánicos, o de los vibrónicos de estado sólido, como el de alexandrita. Gracias a este hecho, los primeros pueden ser sintonizados en márgenes de longitud de onda, dentro del visible, bastante amplios y los segundos, en el infrarrojo muy cercano.

Por otra parte hay que recalcar el hecho de haber separado a los láseres basados en uniones semiconductoras de los de estado sólido. Esto se debe a que el mecanismo de laseado en ellos, y que ya es sobradamente conocido, es muy diferente a los convencionales de, por ejemplo, rubí o Nd: YAG. Debido a su forma de trabajo, los de semiconductor tienen una serie de propiedades que los separan, además, de todos los demás. Así, pueden ser modulados directamente,

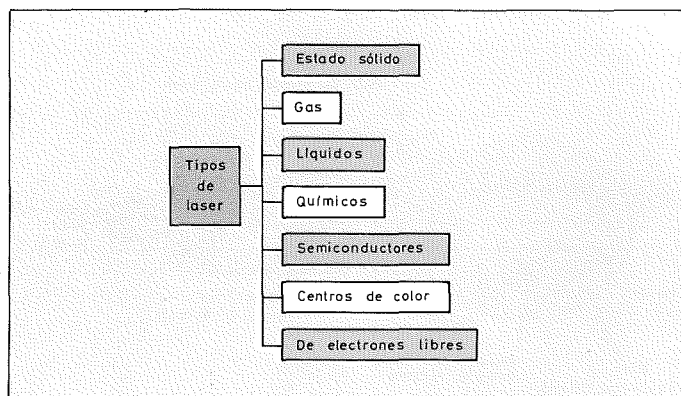


Figura 3. Principales tipos de láseres de acuerdo con su material activo.

en función de la intensidad de corriente que los atraviesa, en lugar de requerir un modulador externo, como es el caso del resto. Gracias a ello han adquirido la preponderancia tan absoluta que tienen, además de por su tamaño, en campos como las Comunicaciones Ópticas.

Los dos últimos, los de centros de color y los de electrones libres, principalmente estos últimos, se encuentran todavía en fase muy embrionaria de desarrollo. Los de centros de color, basados en haluros alcalinos, tienen la raíz de su forma de trabajo en las diversas bandas de absorción y emisión que tienen dichos compuestos cuando su estructura es parcialmente alterada por la presencia de vacantes o impurezas de otros elementos en ellas. Su esquema de funcionamiento es, en un contexto muy simple, también el de un láser de cuatro niveles; la realidad es que son bandas lo que entra en juego, con lo que puede llegar a obtenerse una cierta sintonizabilidad. De hecho, en la actualidad pueden abarcar el rango de 0,8 a 3,3 micras, o lo que es lo mismo, cubren a partir del valor en el que dejan de trabajar los de colorantes orgánicos. Este hecho los hace candidatos muy idóneos para cubrir una zona del espectro poco cubierta hasta hoy. Pero tienen, por el momento, una muy severa desventaja: requieren trabajar a temperaturas criogénicas, usualmente alrededor de 77°K. Si esto no se cumple, la vida de los centros de color no es, en muchos casos, superior a un día. Además, es preciso mantenerlos en vacío. Ambos hechos implican un uso muy poco extendido fuera del laboratorio, aunque para espectroscopía molecular y para evaluación de fibras ópticas sean de un gran interés. Es de esperar que con ellos ocurra como los de semiconductor en la década de los 60 y se llegue pronto a una solución que elimine las anteriores desventajas. El esquema de uno en uso es el que aparece en la figura 4.

Los de electrones libres constituyen otro grupo digno de atención. Aquí el concepto que se maneja es por completo diferente a todos los demás. En los anteriores siempre se trataba con electrones que, de una manera más o menos amplia, estaban obligados a moverse dentro de una pequeña zona de espacio. Se pasaba, como mucho, de tener que estar unidos a un átomo o a una molécula a poder moverse dentro del volumen de un semiconductor. Pero nada más. Aquí, en cambio, los electrones están absolutamente libres ya que se mueven en el vacío. Su único condicionamiento es que están obligados a desplazarse a través de un campo magnético periódico. Y su interacción con él es el que conduce al proceso de emisión estimulada. Estos láseres son, en principio capaces de generar emisiones de muy alta intensidad de pico, varios megavatios por centímetro cuadrado, y con longitudes de onda que pueden ir desde el infrarrojo, al ultravioleta y, quizás, hasta a los rayos X. Ello se

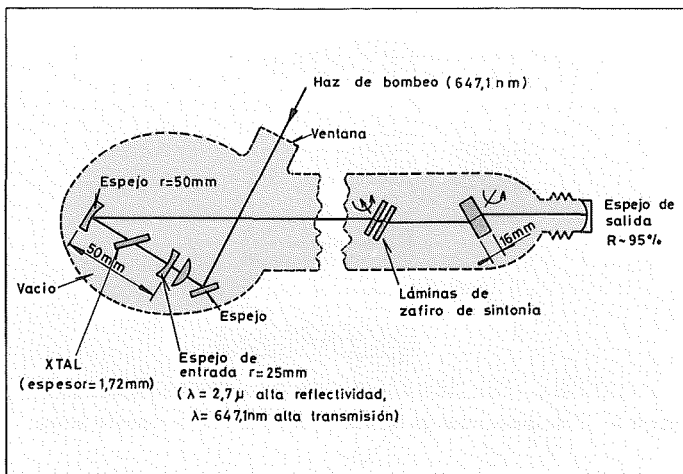


Figura 4. Configuración típica de un láser de centros de color. Los datos de la figura se refieren a un láser de Li: Cl K bombeado longitudinalmente por otro láser de Kr⁺.

debe a que dicha longitud de onda depende de la velocidad inicial de los electrones y de la longitud del período del campo magnético. Pero en el momento presente sólo están trabajando, con el esquema de la figura 5, en 3,4 micras y con una potencia de salida de 0,36 W. Será necesario vencer los problemas actuales, que dan un rendimiento menor del 0,5 %, para que este láser sea el verdadero caballo de batalla para todo uso. Su previsible versatilidad no es igualada por ningún otro, pero parece que falta todavía bastante para que se alcance en su totalidad. Sin duda, cuando se logre, se podrá decir que se dispone de un láser «todo terreno». Pero aún está algo lejos.

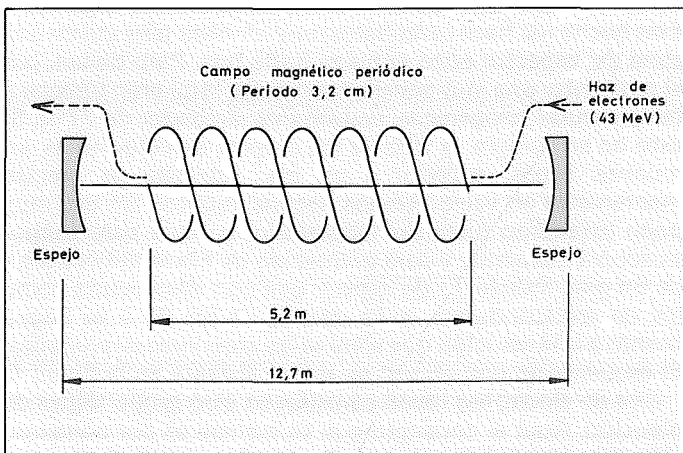


Figura 5. Diagrama esquemático de un láser de electrones libres según desarrollo de Deacon y colab.

El resto de los láseres, que aparecen en la figura 3, han sido ya parcialmente tratados cuando se habló de su historia. No parece oportuno volver aquí al tema. Únicamente se han desarrollado en las figuras 6 y 7 los bloques de láseres de estado sólido y de gas, a fin de indicar algo más de sus diferentes formas de trabajo y frecuencias de laseado.

El resumen de las zonas que cubren aparece sintetizado en la figura 8. Como puede apreciarse la mayor concentración se encuentra en el visible aunque es seguro que este hecho quede alterado muy pronto, alcanzándose regiones más alejadas hacia el ultravioleta y el infrarrojo.

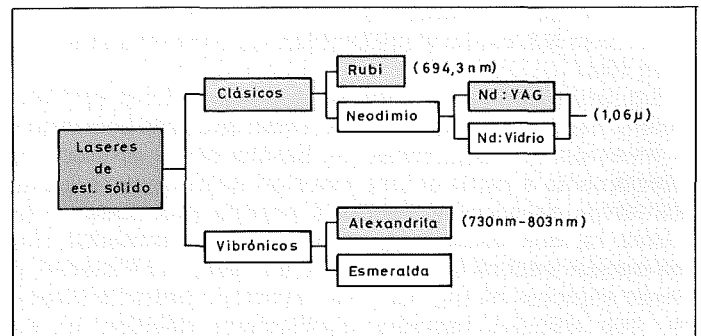


Figura 6. Principales tipos de láseres de estado sólido.

Sólo queda hablar algo del mercado y de los usos más comunes. Ambos hechos aparecen en las figuras 9 y 10. El mercado está referido a cifras de ventas en los Estados Unidos que son, actualmente, el principal suministrador de láseres a todos los países occidentales. La producción europea, en su totalidad, no alcanza ni al 10 % de ella. Por lo que se refiere a usos, aparecen únicamente los más usuales y aquellos que pueden englobarse bajo un gran epígrafe,

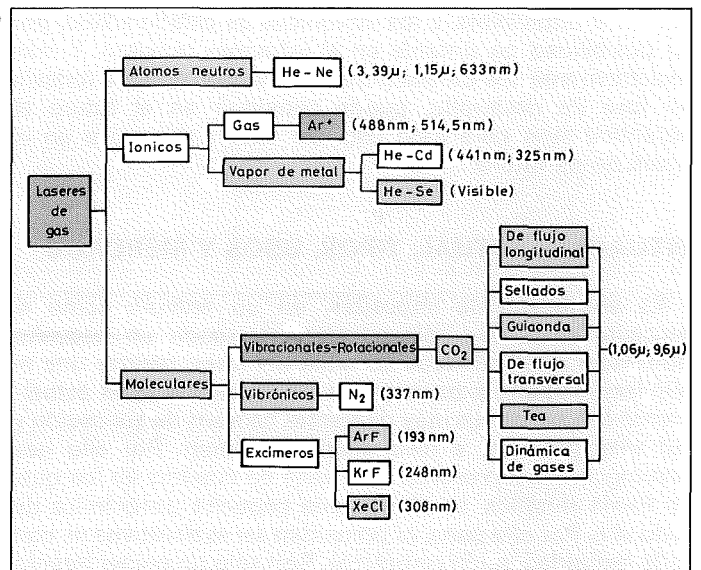


Figura 7. Principales tipos de láseres de gas.

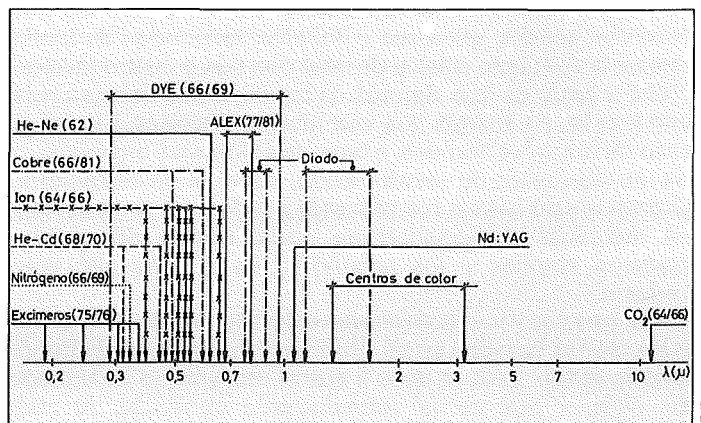


Figura 8. Longitudes de onda de trabajo de los principales tipos de láseres actualmente en uso. A continuación de cada tipo se indica el año en que se hicieron trabajar por vez primera y el año en el que aparecieron comercialmente en el mercado.

Aplicaciones	Sistemas láser	Componentes láser	Ejemplos
Impresión sin impacto	1095	28,3	Impresoras de alta velocidad.
Comunicaciones ópticas	1068	45,4	Láseres de diodos acoplados con fibras ópticas.
Artes gráficas	571	12	Separadores de color para cuadrícromía. Composición y planchas tipográficas.
Militares, tácticas	316	57,3	Telémetros y designadores de blancos.
Medicina. Terapia/Diagnosis.	276	59	Sistemas oftálmicos, quirúrgicos, de fotorradiación.
Metrología e inspección industrial	248	19,5	Clasificadores de células.
Proceso de materiales	233	83,4	Alineamiento. Inspección holográfica. Dosificación.
Audio y videodiscos	200	10	Corte, taladro, soldadura (metales y no metales).
Puntos de venta	133	4,1	Almacenado y reproducción digital de información.
Investigación y desarrollo	109	93,3	Control de ventas e inventarios en supermercados.
Agricultura y construcción	86		Experimentación en Física, Química, Biología etc.
Entretenimiento, exhibiciones	4		Alineamiento, nivelado. Topografía.
Totales	4376		Espectáculos luminosos.

Las cifras relativas a componentes láser comprenden, además de unidades completas, reposiciones de componentes.

Figura 9. Cifras estimadas del mercado de láseres y sistemas en 1984, clasificadas por aplicaciones (en millones de dólares). (Adaptado de «Lasers & Applications», enero 1985 y J.M. Orza, «Arbon» marzo 1985).

como comunicaciones o metrología por ejemplo. No se detallan sus múltiples usos en investigación y desarrollo ya que sería prácticamente imposible; de hecho es muy difícil hoy encontrar un campo de la ciencia en que no tenga empleo.

PREVISIONES FUTURAS

A los pocos meses de descubrirse el láser se dijo de él que era «una solución a la búsqueda de un problema». Y esto ha sido realidad hasta hace muy poco. Prácticamente todos los campos de la ciencia y la técnica han hecho uso de él y gracias a él han realizado espectaculares avances. En la mente de todos están las comunicaciones ópticas, el procesado y tratamiento de materiales, sus usos en medicina, en telemetría, en reproducción de sonido, en espectáculos, la holografía. Todo ello se ha desarrollado gracias a que existía el láser y con él se creó la necesidad de usarlo.

Pero la situación hoy es otra. Se ha pasado de que sea una solución a ver si el láser tiene solución para un problema anterior. Las preguntas han vuelto a estar delante de las contestaciones. Ya no se tiene un láser y se pregunta qué se puede hacer con él. Ahora se tiene un reto y se mira a ver si hay un láser que lo pueda vencer. Y si no, se trata de encontrar uno que lo haga. Y en función de ello ha comenzado una carrera en la que se trata de obtener nuevos tipos de láseres y nuevas formas de trabajo. Ya no es, por ejemplo, «tenemos un láser, vamos a ver cómo podemos hacer con él un computador óptico». Hoy el problema es «queremos desarrollar un computador óptico, veamos cómo

tiene que ser el láser a emplear y hagámosle». La filosofía total ha dado un giro de 180°. Y en función de ello se han comenzado a desarrollar una serie de nuevos tipos de láseres, un ejemplo de los cuales es el de electrones libres que se mencionó anteriormente.

Cabría hacer así un pequeño estudio de hacia dónde va el láser. Y para ello es necesario primero decir dónde está hoy. Y dónde está hoy es lo que aparece resumido en la figura 10, que ya hemos visto. Todo eso eran usos ya normales y que, con toda seguridad, se asentarán más en el futuro. Se usarán mayores potencias cuando sea menester o se incrementará su velocidad de emisión de pulsos si así se requiere. Pero el concepto ya está fijado. Queda ver qué hay después.

Y después hay una serie de campos en los cuales el láser todavía sólo ha entrado muy tímidamente, si es que ha entrado. Nos estamos refiriendo, entre otros, por ejemplo, al de los computadores ópticos, mencionado antes. Desde hace unos cinco años, uno de los campos más activos ha sido éste. Pero por el momento se encuentra aún en fase preembrionaria. Los láseres existentes sólo valen parcialmente; la filosofía del ordenador ha de ser otra que para el electrónico; los dispositivos actuales no valen. Sólo se sabe que se quiere un ordenador que funcione fotónicamente y poco más. Los palos de ciego que se están dando en todas direcciones son innumerables. Y lo único seguro que se sabe es que tiene que haber un láser por medio. Ni el tipo, ni la forma de trabajo se saben aún.

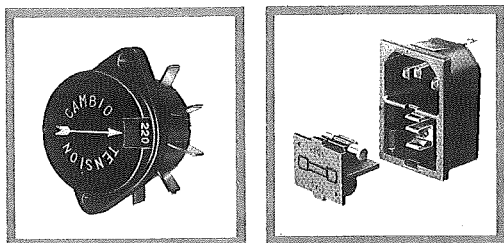
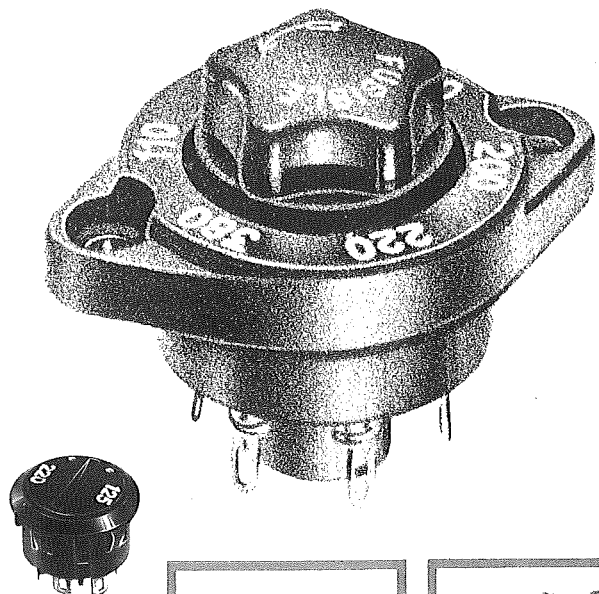
Otro campo: el reconocimiento desde el espacio de la topografía terrestre y la composición de la atmósfera. Técnicas como el LIDAR son conocidas desde hace muchos años. Pero aún quedan muchas dudas en torno a los láseres

Tipos de láser	Número unidades	Cifra de ventas	Aplicaciones principales, según su volumen económico
Helio-Neón	212.395	42,6	Artes gráficas, Metrología, I+D, «Scanners», Militares, Medicina.
Iónicos (Ar ⁺ y Kr ⁺)	10.765	68,6	Medicina, Artes gráficas, I+D, Metrología, Exhibiciones.
Helio-Cadmio	1.430	4,9	Artes gráficas, I+D.
Colorantes	739	23,7	I+D.
Dióxido de carbono	2.224	77,9	Proceso materiales, Medicina, I+D.
Estado sólido	4.541	118,6	Militares, I+D. Proceso de materiales.
Diodos	979.300	66,7	Comunicaciones ópticas, I+D, Militares, Metrología.
Excímeros	397	13,1	I+D. Proceso de materiales.

Figura 10. Número de láseres de diferentes tipos vendidos en 1984 y valor estimado, en millones de dólares (incluyendo componentes para reposición). (Adaptado de «Lasers & Applications», enero 1985 y J.M. Orza, «Arbon» marzo 1985).

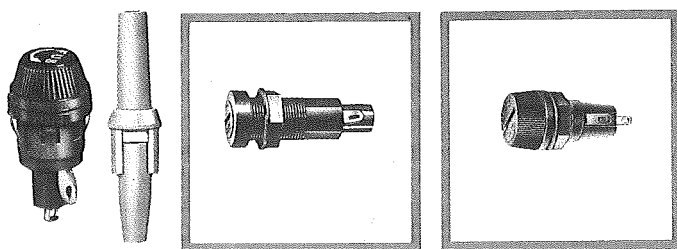
CAMBIOS TENSION

ELIJA ENTRE UNA COMPLETISIMA GAMA



PORTAFUSIBLES

MAS DE 30 MODELOS DISTINTOS



FUSIBLES

5 x 20 mm.
6 x 30 mm.
6,3 x 32 mm.



electro dh s/a
componentes para la industria de radio - tv - electrodomésticos

ARIBAU, 240, PLTA. 6-H - 08006 BARCELONA - TELEX 97335 DAVI E

☎ DAHER - ☎ 200 19 89 - 200 21 79 - 209 26 14

a usar. La estabilidad de frecuencia es un parámetro que no está lo suficientemente conseguido en los láseres, como el de CO₂, usados hasta la fecha. Por ello será preciso desarrollar nuevos tipos que aún no se prevé cuáles puedan ser. En cualquier caso, láseres trabajando a bordo de satélites no serán raros dentro de cinco años. Y no con fines de «defensa» sino con misiones puramente civiles.

Y otro: la fusión nuclear. Aunque aquí la controversia es grande, el láser puede que tenga un papel importante. Hasta que se decida qué tipo de confinamiento es el más adecuado, el láser sigue siendo un candidato cualificado.

Y otro: la interacción con tejido vivos. Este tema está también dando sus primeros pasos. No es el ya conocido del láser en terapia, sino el del estudio de cuál es la influencia sobre el desarrollo y evolución de las células, de una radiación láser. Las posibilidades de originar mutaciones o alteraciones están presentes en muchas investigaciones en este campo.

Y otro: la televisión en relieve, en la que por técnicas holográficas y haz de fotones en lugar de electrones pueda conseguirse dicho efecto. Aunque aquí lo único que se tiene es el láser; falta lo más importante: la pantalla de proyección.

Y otro... pero más vale que lo dejemos aquí, porque entraríamos en el terreno de la ciencia-ficción. Lo único seguro es que, después del nacimiento del láser, como dice Neruda en su poema 20, «Nosotros, los de entonces, ya no somos los mismos». ●

José Antonio Martín Pereda, Doctor Ingeniero de Telecomunicación y Licenciado en Ciencias Físicas, realizó sus estudios de Doctorado en la Colorado State University de Fort Collins, Colorado, desde 1968 a 1971. Catedrático de Tecnología Electrónica y Electrónica Cuántica de la ETS de Ingenieros de Telecomunicación de Madrid desde 1975, ha dedicado su actividad principal al estudio de temas relacionados con el láser y sus aplicaciones desde 1968. Su interés principal se ha centrado recientemente en el estudio de dispositivos electroópticos de modulación, deflexión y control de haces láser para diferentes aplicaciones y en especial para Comunicaciones Ópticas. En la actualidad se encuentra desarrollando una serie de estudios en torno al desarrollo de dispositivos bistables ópticos y sus posibles aplicaciones en el campo de los Ordenadores Ópticos y de las Comunicaciones Ópticas. Ha sido nombrado recientemente miembro del Grupo de trabajo de la ESA (Agencia Espacial Europea) creado en el presente año de «Space Laser Sounding and Ranging» y cuya función específica será la de definir las políticas que en este campo desarrollará dicha Agencia Espacial en los próximos años. Asimismo, es en la actualidad presidente del Comité Técnico de la European Conference on Optical Communications (ECOC, 86) que tendrá lugar en Barcelona en septiembre de 1986.

Indique 32

**mundo
electrónico**

La revista de Electrónica Profesional e
Informática Industrial que leen
todos los profesionales ★★★★★