

## Investigación en Óptica Fisiológica en España: Un repaso a los orígenes

### Research in Physiological Optics in Spain: A historical revision

Susana Marcos<sup>(1)</sup>, Pablo Artal<sup>(2)</sup>, Javier Santamaría<sup>(3)</sup>, Mariano Aguilar<sup>(4)</sup> y Lorenzo Plaza<sup>(1)</sup>

1. Instituto de Óptica, CSIC, Serrano 121, 28006 Madrid.
  2. Laboratorio de Óptica, Departamento de Física, Universidad de Murcia, 30071 Murcia.
  3. Sener Ingeniería, Tres Cantos, Madrid.
  4. Universidad Politécnica de Valencia.
- Mail de contacto: susana@io.cfmac.csic.es

#### RESUMEN

Se hace una revisión, no exhaustiva, de la historia de la investigación en Óptica Fisiológica que se desarrolló en España desde los años 40 a los primeros 80. El vigor actual de la investigación en este campo descansa en parte en la labor pionera reflejada en este artículo.

**Palabras clave:** Óptica Fisiológica; historia.

#### ABSTRACT

A non complete historical revision of the research activities in Physiological Optics in Spain is presented. In particular, some of the early accomplishments for the 40's to the 80's are revised. The successful current situation of the research in this field is in part due to the early work described in this article

**Key words:** Photonic Physiological Optics; history.

#### REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] "Instituto de Optica Daza de Valdés 1946-1956", Consejo Superior de Investigaciones Científicas (1957).
- [2] L. Plaza, "Colloque sur le problemes optiques de la vision", *Optica Acta* **1**, 66-68, (1954).
- [3] L. Plaza "El Instituto de Óptica de Madrid de 1946 a 1983. Obra predilecta del Prof. Otero Navascués", *Opt. Pura Apl.* **33**, 31-42, (1984).
- [4] M. L. Calvo, C. Gómez-Reino, "In Memoriam: Armando Durán Miranda (1913-2001)", *Opt. Pura Apl.* **33**, 1-16 (2000).
- [5] A. Durán, "La Óptica en España", *Prospectiva de la Enseñanza de la Óptica en España*, Vol. 1, (Ed. E. Bernabeu), Sociedad Española de Óptica, pp. 9-23 (1985).
- [6] M. Aguilar, "Hablemos de Óptica", Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño, Valencia, (2002).

#### 1. Introducción

¿Qué tiene de especial España –nos preguntan a menudo nuestros colegas internacionales- para contar con varios de los mejores grupos del mundo en Óptica Fisiológica? ¿Se trata de una disciplina particularmente apoyada desde el gobierno, con programas de financiación especiales? No es esa la respuesta. A diferencia de países como EEUU, España no cuenta con numerosos institutos de investigación multidisciplinar sobre el ojo, ni la visión es objeto prioritario de programas nacionales

–ni tan siquiera europeos-. Sin embargo los trabajos en óptica visual de investigadores españoles se publican en las mejores revistas del campo, cuentan con un amplísimo número de citas y se toman como referencia en los centros de investigación más prestigiosos. Los congresos más importantes del área cuentan siempre con españoles como conferenciantes invitados, las principales revistas tienen editores asociados españoles y las empresas líderes internacionales del sector oftálmico siguen atentamente los trabajos realizados en nuestros

laboratorios y mantienen contratos de investigación con ellos.

Bien es cierto que en los últimos años hemos visto un crecimiento exponencial del área en nuestro país promovida por la presencia de investigadores muy activos, un mayor acceso a nuevas tecnologías, un fuerte interés desde otras disciplinas biomédicas en los resultados científicos del campo, un incremento de la colaboración multidisciplinar, el potencial de transferencia a la industria y a la clínica, el desarrollo de la biofotónica o la atracción al área de científicos en otros campos de la óptica, la física o la biología. Sin embargo, todo esto, aunque importante, no es suficiente para explicar el liderazgo del que se sorprenden, aunque cada vez menos, nuestros colegas. Una revisión de la labor de los pioneros de la investigación científica en óptica fisiológica en España, desde los años 40 revela que éste campo no tendría la posición que ocupa en nuestras días sin los cimientos que los Otero, Durán, Plaza, Aguilar, entre otros, y en los 80 Santamaría o Bescós colocaron.

Hemos hablado con algunos de los protagonistas de aquellos años, revisado antiguas memorias de investigación del Instituto de Óptica de Madrid (donde se llevo a cabo la mayor parte de la investigación pionera), consultado bases de datos... Nos resulta impresionante, y a la vez hermoso, encontrar publicaciones de investigadores españoles en el "Journal of the Optical Society of America" en los años 40, contribuciones clave en temas de candente actualidad como la aberración esférica del ojo o la direccionalidad de los fotorreceptores retinianos, colaboraciones con los centros más prestigiosos europeos y americanos, estancias de Premios Nobel en el Instituto de Óptica o la organización de conferencias de altísimo nivel internacional. Sorprende el dinamismo y visión de estos primeros investigadores, su perspectiva multidisciplinar, su proyección internacional (con continuos intercambios científicos con Zurich, Washington DC, Londres, Florencia, París, Boston, Nueva York) interés por la docencia de alto nivel (creando escuelas de Óptica Técnica Superior o la primera Escuela de Óptica) y relaciones con el sector productivo (creando empresas como ENOSA), entre los años 45 y 55. Es además de destacar la visión por promover la formación de los jóvenes investigadores en los mejores centros con los mejores científicos de la época.

Toda esta labor es, si cabe, aun más impresionante al considerar el entorno social de los años 40, en plena post-guerra con un país asolado y con una ciencia en general casi inexistente. Ciertamente, sin embargo, que la Óptica era especial, y en

paralelo se tiene un notable desarrollo de la Óptica Instrumental y las extraordinarias contribuciones de Catalán en espectroscopia Óptica.

Recogemos en un apéndice un listado de las primeras publicaciones internacionales, las primeras tesis doctorales, y las colaboraciones con el extranjero de investigadores en nuestro país en el campo de la óptica fisiológica, como un pequeño compendio y homenaje a nuestros predecesores y para conocimiento de las nuevas generaciones que se incorporan a este campo.

Además, presentamos algunos testimonios directos de los quienes vivieron en primera persona aquellos años.

## 2. Los años 40 y 50: Otero y la miopía nocturna

Los orígenes de la investigación en óptica fisiológica en España hay que buscarlos en la figura de José M<sup>a</sup> Otero, ingeniero de artillería de la Armada, y especializado en óptica en el Instituto de Óptica de Berlín, donde por mediación de José Antonio Artigas se formó durante dos años con el Prof. Weidert. A su regreso a España en 1934 funda el Laboratorio de Óptica de la Marina, y poco después comienza a trabajar con el Prof. Julio Palacios en el Instituto Rockefeller de Física y Química (creado en 1932 por la Junta para Ampliación de Estudios). Tras la guerra civil, Otero es destinado al Laboratorio y Taller de Investigación de Estado Mayor de la Armada (LTIEMA), que más tarde dirigirá, dedicándose a la renovación, fabricación y control de elementos ópticos (a los que incorpora el cálculo de sistemas) en equipamiento de guerra. Con la creación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas en 1939, Otero se encarga de una nueva sección de Óptica en el Instituto Física Alonso de Santa Cruz (parte del antiguo Rockefeller). La producción científica en Óptica Fisiológica comienza desde ese momento a despuntar, de la mano de los miembros fundadores de la Sección de Óptica: Armando Durán (encargado del área de Óptica Geométrica y cálculo de sistemas), Piedad de la Cierva (formada en el National Bureau of Standards, Washington DC y responsable de vidrios ópticos) y el propio José María Otero (que dirige el área de óptica fisiológica) además de los jóvenes investigadores que se van incorporando: Jiménez Landi, Maruja Egües (formados en calculo de sistemas con Duran en la Universidad Central de Madrid), Lorenzo Plaza (quien más tarde dirigirá las áreas de colorimetría y fotometría, tras su estancia con el Prof. Judd en Washington DC, donde realiza una tesis pionera en la reproducción cromática en la incipiente televisión en color).

A principios de los 40 Otero trabajó en el cálculo y diseño de los componentes ópticos de los periscopios de dos pequeños submarinos de fabricación nacional, y de prismáticos de poco peso y baratos con máximo rendimiento en visión nocturna. Otero y Durán realizaron estudios psicofísicos de la función visual en condiciones de baja iluminación, investigando la importancia relativa de diferentes factores en visión nocturna (agudeza visual, aberración cromática, rendimiento luminoso). En el transcurso de estas investigaciones descubrieron que en estas condiciones la función visual mejoraba si los prismáticos se enfocaban a  $-2$  D, en lugar de las  $-0.75$  D esperadas (teniendo en cuenta las aberraciones esféricas, cromáticas del instrumento y el efecto Purkinje). Bautizaron a este efecto (miopización en condiciones nocturnas) como Miopía Nocturna y prepararon las primeras publicaciones científicas del mundo sobre el tema, publicadas en la revista de los Anales de Física y Química en 1941 y 1942, en plena Segunda Guerra Mundial. Investigadores de países participantes en la guerra (el italiano Ronchi, los franceses Arnulf y colaboradores, o los alemanes Schobber y Kühl) publicaron sobre la miopía nocturna posteriormente en 1943, 1946, 1947 y 1950, aunque es posible que ya conocieran el fenómeno anteriormente y fuera considerando secreto de guerra. Armando Durán, José Cabello, y más tarde Fermín Salaverri y Luis Casero realizan sus tesis doctorales sobre la miopía nocturna, y junto con Pilar Carro y Lorenzo Plaza avanzan en el estudio de sus causas (alteración del mecanismo de acomodación en ausencia de estímulos) y fenómenos relacionados. Más adelante, a finales de los años 40, parte de estos experimentos se publicaron en la revista de la Sociedad Americana de Óptica (figura 1). El mundo científico reconoció a Otero como descubridor de este fenómeno, siendo invitado a dar conferencias en universidades y centros de investigación de todo el mundo, facilitando el intercambio y colaboraciones con los mejores laboratorios internacionales.

En 1946 la Sección de Óptica del Instituto de Física se convierte en un instituto propio, incorporando nuevas secciones, entre las que destacó en su momento la de espectroscopia. El nuevo instituto se bautizó con el nombre de “Daza de Valdés” como homenaje al primer autor de un libro de contenidos de Óptica geométrica y fisiológica publicado en lengua castellana (1623), titulado “El uso de los antojos”. Curiosamente en este libro, reconocido internacionalmente como una obra maestra en el campo de la anteojería se lee, entre otras ideas brillantes sobre la presbicia, la cirugía de cataratas o el uso de lentes, “también de noche podéis añadir medio grado más, porque monta tanto

como ver con medio grado menos a la luz del día” muy probablemente refiriéndose a la miopía nocturna.

### 3. Los años 50 y 60: Avanzando el estudio del sistema visual

A mediados de 1950 el Instituto de Óptica se traslada un nuevo edificio, obra del arquitecto Fisac, recientemente fallecido. El departamento de Visión (dirigido por Otero) se subdivide en tres secciones: Fotometría y color (a cargo de Lorenzo Plaza), Óptica Fisiológica (a cargo de Mariano Aguilar) y Exploración Ocular (dirigido por López Enríquez). Desde los primeros tiempos del instituto, Otero es consciente de la multidisciplinariedad de la investigación en visión y busca la proximidad de oftalmólogos. La incorporación al instituto de García Miranda (catedrático de oftalmología y director del Instituto de Oftalmología de Madrid) se ve malograda por su prematura muerte al día siguiente de desembarcar en Nueva York para una estancia de investigación con el Prof. Castroviejo, como consecuencia de una enfermedad contraída en el barco. Le sustituyen López Enríquez, y más tarde García Franco.

La organización de un Coloquio sobre los Problemas de la Visión, como parte de un congreso del “International Comisión for Optics” (ICO3) organizado en Madrid en 1953 pone de manifiesto la relevancia de la investigación en óptica fisiológica en el contexto internacional. Asisten como conferenciantes los Prof. Yves Le Grand, W.S. Stiles, y los más tarde galardonados con el premio Nobel, Profs. R. Granit y C. Wald, con conferencias sobre visión binocular, sensibilidad umbral, visión cromática mediante electrofisiología y bases químicas de la excitación visual. Entre los asistentes se cuentan A. Arnulf, F. Campbell, F. Flammant, R.A. Weale, W. Wright. G. Toraldo, M. Ivanoff, B. O’Brian entre muchos otros grandes nombres de la investigación en visión, que presentan contribuciones junto a los investigadores del Instituto de Óptica. La figura 2 muestra la portada del libro de resúmenes y la figura 3, una fotografía de alguno de los asistentes al coloquio (entre ellos dos de los autores de este artículo, Mariano Aguilar y Lorenzo Plaza). En la figura 4 puede verse la foto de grupo del coloquio y en la 5 Mariano Aguilar pronunciando una conferencia en una sesión presidida por L. Plaza y W.S. Stiles.

En los años 50 el estudio de los fenómenos ópticos y físicos de la visión nocturna se amplía, de la mano de Mariano Aguilar, revitalizado por el interés de la rama conocida como “space vision” o “sky vision”. Comienzan además a cobrar interés la sensibilidad luminosa de los fotorreceptores, la

integración de energía por parte de las denominadas unidades sensoriales, los mecanismos de los conos y bastones. En el Instituto de Óptica, Aguilar, junto a Justo Oliva, y más tarde Enrique Sauras realizan estudios psicofísicos relativos a la distribución de las unidades sensoriales en la retina extrafoveal, agudeza visual con tests asimétricos de distintas luminancias e interacción binocular. Y en 1954 se publica, uno de los trabajos más citados en el área de la visión en toda su historia, de Aguilar y Stiles, sobre los mecanismos de saturación de los bastones. Conscientes de la necesidad de ampliar la investigación del comportamiento retiniano con

técnicas objetivas, Mariano Aguilar se traslada a la Universidad de Iowa, para formarse en la aplicación de técnicas electrofisiológicas al estudio de la retina bajo la dirección del Prof. H. Burian. Con la financiación por parte del "American Public Health Service" de un equipo de electrofisiología se abre en el Instituto de Óptica una nueva línea de investigación que analiza la respuesta retiniana para distintas condiciones de los estímulos visuales (color, tamaño, excentricidad). El primer trabajo en esta área se publica en 1965, continuando García Franco estas investigaciones durante algunos años posteriores.

## Artículos pioneros en JOSA

JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA VOLUME 39, NUMBER 2 FEBRUARY, 1949

### Absolute Thresholds and Night Myopia

J. M. OTERO, L. PLAZA, AND F. SALAVERRI  
 Institute of Optics, "Daza de Valdés," Madrid, Spain  
 (Received September 28, 1948)

The first measurements of night myopia showed a clear decrease in the minimum quantity of light needed to reach a certain visual acuity when the night myopia was compensated. The results indicated a possible decrease in absolute thresholds. In the present paper we study, with four observers using binocular vision and white light, the influence of night myopia on these thresholds for target areas ranging from 30 seconds to 10.5 minutes and retinal zones from the fovea up to 15° eccentricity. A statistical technique secures very uniform results. We find unquestionably that the values of the threshold decrease substantially in every case when night myopia is compensated. The average diminution is 50 percent. On the other hand, the abnormal light distribution on the retina caused by night myopia, when compensated, may modify the laws relating absolute thresholds with stimulus area. We have studied these possible changes in the generally admitted range of validity of Ricco's law without finding any noticeable variation.

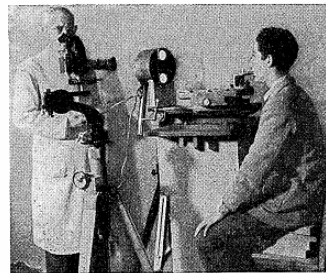


Fig. 11. Device used to take the pictures of the Purkinje images in complete darkness.

JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA VOLUME 41, NUMBER 12 DECEMBER, 1951

### Influence of the State of Accommodation on the Visual Performance of the Human Eye\*

José M. Otero  
 Institute of Optics "Daza de Valdés," Madrid, Spain and Naval Research Laboratory, Madrid, Spain  
 (Received June 1, 1951)

In this paper the contribution of the accommodation to some visual tasks, particularly in the range of low luminous levels, is considered. Theories are described regarding accommodation as well as the changes produced in the eye during the accommodation process. The visual process, when the eye is adapted to darkness and the luminous stimulus has luminances not bigger than a given value, is described as well as the phenomena of night myopia and presbyopia, which appear when the eye is working under such conditions, and the influence which both phenomena have on the visual performance. These latter effects are related to the mechanism of accommodation, since it involves a loss of the accommodative faculty. A critical study is given of the causes proposed by different researchers in order to explain the phenomenon of night myopia, and finally experimental evidence is presented proving that the main cause of night myopia is closely related to the mechanism of accommodation. Measurement of the size of the Purkinje images by photographing the eye in full darkness provides a measure of night myopia. It was observed that the position of rest of the eye-lens, i.e., the position it takes when there is no stimulus to put the mechanism of accommodation in action, is not focused to infinity but to a distance of about 0.8 meter. The discovery of this rest position of the eye gives a more logical construction to the Helmholtz-Gullstrand theory of accommodation.



JOSÉ M. OTERO

Fig. 1. Artículos de Otero y colaboradores en *J. Opt. Soc. Am.*

COMITE ESPAÑOL  
 DE I. A.  
 UNION INTERNACIONAL DE FISICA PURA Y APLICADA

COLOQUIO  
 SOBRE  
 PROBLEMAS OPTICOS DE LA VISION

INSTITUTO DE OPTICA  
 SERRANO, 121. MADRID  
 15-21 ABRIL DE 1953

Fig. 2. Portada del libro de resúmenes del ICO-3 (Problemas ópticos de la Visión), Madrid 1953



Fig. 3. Foto de algunos de los asistentes al coloquio sobre "Problemas ópticos de la Visión", 1953



Reunión del coloquio sobre "Problemas Ópticos de la Visión"

Fig. 4. Foto de grupo de los participantes en el coloquio sobre "Problemas ópticos de la Visión" en la entrada del Instituto de Óptica. Sentados en la primera fila, de izquierda a derecha: Mariano Aguilar, Lorenzo Plaza, Leonardo Villena, Jorge Juan, Antonio Sanz, Antonio Cruz, Miguel Solís, Justo Oliva, Fernando Rico; en la segunda fila, de izquierda a derecha, Otero, Laura Ronchi, Wald, Judd, Stiles, Artigas, -3 señoras no identificadas-, Josefina Yunta y Ana Plaza. 1953

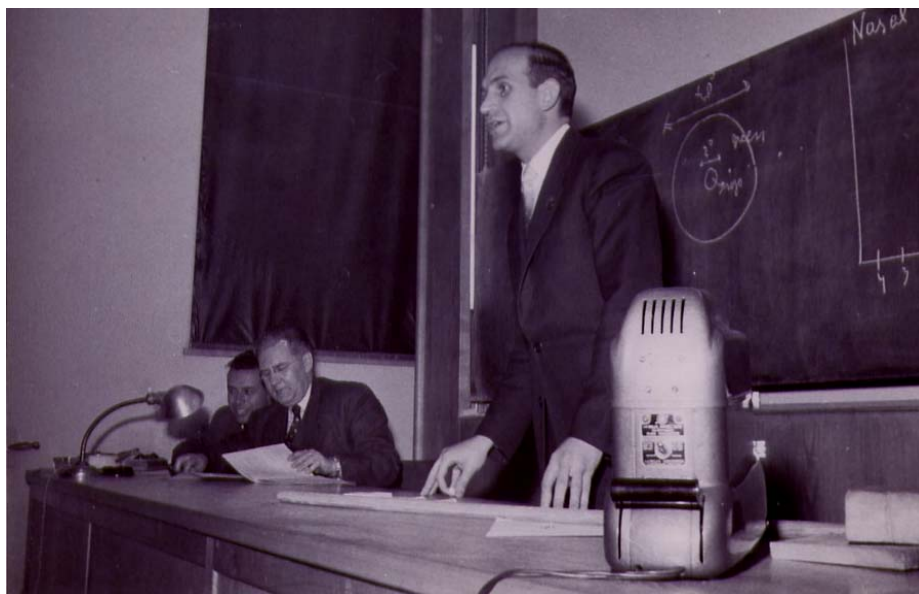


Fig. 5. Foto de Mariano Aguilar pronunciando una conferencia en el coloquio sobre "Problemas ópticos de la Visión", 1953, en el Salón de Actos del Instituto de Óptica "Daza de Valdés". Presiden la Sesión los Profs. Stiles (derecha) y Plaza (izquierda)

#### 4. Los años 70 y 80: El resurgir del área con el método de "Doble-Paso"

A comienzo de los años 70 Lorenzo Plaza contrata al Prof. Arnulf, que se acababa de jubilar en Francia, para continuar con el área de visión, disciplina que había quedado desguarnecida principalmente por la ausencia del Prof. Aguilar que había obtenido la cátedra de Valencia, y con el Prof. Jiménez Landi próximo a la jubilación.

Tras conversaciones entre Lorenzo Plaza, director a la sazón del Instituto de Óptica, y Justiniano Casas, Director del Departamento de Óptica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza, se acuerda que Javier Santamaría y Julián Bescós que estaban finalizando su tesis doctoral en la Universidad de Zaragoza bajo la dirección de la Dra. Yzuel, y como paso previo a su eventual incorporación al Instituto de Óptica, adelanten su traslado a Madrid para poder aprovechar la estancia del Prof. Arnulf. En esta primera fase, Arnulf, emprende la tarea de montar sistemas experimentales encaminados a determinar y caracterizar la microfluctuaciones de la acomodación, basados en fotografías del cristalino mediante técnicas de Foucault expandidas a dos dimensiones (Toepler) utilizando pupilas anulares. Si bien estas técnicas permitían la "visualización" de las microfluctuaciones, su análisis exigió el desarrollo de técnicas fotográficas muy complejas. Todo esto añadido al hecho de que, para minimizar la luz parásita se debieron usar pupilas (anulares) muy estrechas, se obtenían imágenes de calidad limitada, haciendo complejo el análisis cuantitativo.

Durante este trabajo, tanto Javier Santamaría como Julián Bescós finalizan sus tesis doctorales y se incorporan al Instituto de Óptica, colaborando intensamente con el Prof. Arnulf, trabajo que compaginan con otra línea dedicada al procesado óptico y digital de imágenes, iniciada desde cero y pionera en esos momentos en España. Dados los escasos resultados (por lo menos desde el punto de vista del análisis cuantitativo) y a pesar del intenso trabajo realizado durante varios años, el Prof. Arnulf propone analizar las microfluctuaciones mediante el análisis de la imagen retiniana de un punto, como un paso adelante respecto a las pruebas ya realizadas en Francia con un test lineal (Dupuy). Dada a la dificultad de obtener fuentes puntuales con brillo suficiente para tales registros y debido también al complejo manejo de la luz parásita, estos trabajos se muestran infructuosos durante años hasta que Javier Santamaría, a su vuelta de USA donde ha estado trabajando en Rochester en temas de procesado óptico de imágenes (1976) propone utilizar, por vez primera, una fuente láser como test puntual, lo que prueba con él mismo como observador. El alto brillo del test así como su monocromaticidad y el uso de un intensificador de imágenes, permitieron el registro dinámico, inicialmente fotográfico y a continuación en vídeo, de imágenes de alta calidad. Con el registro por primera vez de imágenes retinianas de un punto del sistema óptico del ojo se abrió el camino del método del doble paso tal como hoy día se entiende, sin perjuicio de que existieran experiencias anteriores basadas en la imagen de una línea.

Este trabajo continuó con dos líneas paralelas, una instrumental dedicada a la explotación del método del doble paso como elemento de caracterización del sistema óptico visual y otra científica dedicada al propio estudio y cuantificación

del proceso de formación de la imagen analizando el impacto de la coherencia del propio doble paso y otros factores. La línea instrumental permitió el desarrollo del sistema que se denominó VIRIOM (“visualizador de imágenes retinianas del Instituto

# OPTICA HOY Y MAÑANA

PROCEEDINGS OF THE  
ELEVENTH CONGRESS OF THE  
INTERNATIONAL COMMISSION FOR OPTICS



10 - 17 September 1978

Editors

J. BESCOS  
A. HIDALGO  
L. PLAZA  
J. SANTAMARIA

INSTITUTO DE OPTICA "DAZA DE VALDES" C.S.I.C.  
SOCIEDAD ESPAÑOLA DE OPTICA  
Madrid, 1978

Fig. 6. Foto de Portada del libro de resúmenes del congreso ICO-11, celebrado en Madrid en 1978.

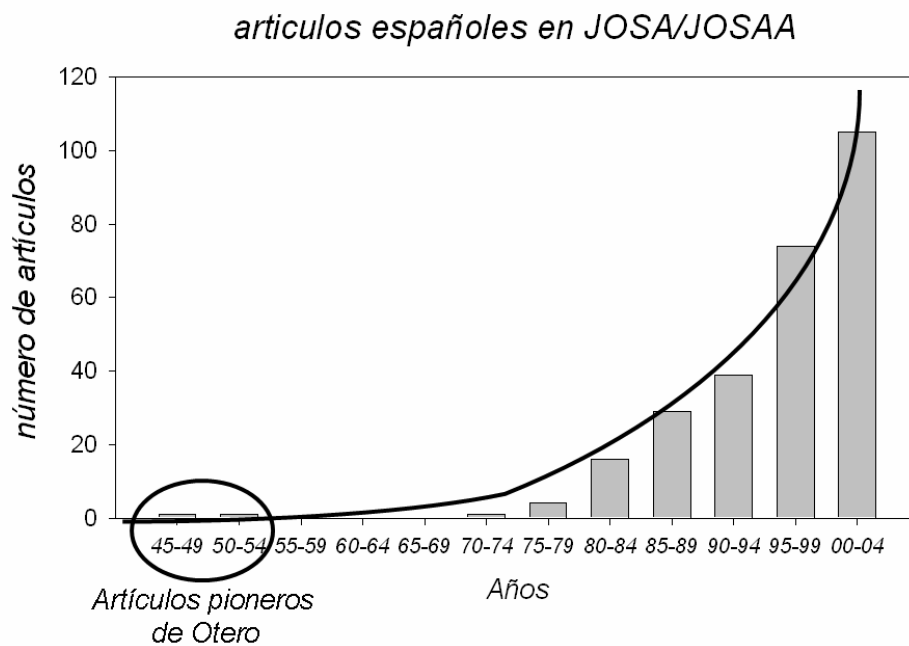


Fig. 7. Número de publicaciones de científicos españoles en la revista “Journal of the Optical Society of America” (a partir de 1984 en la parte A).

de Óptica de Madrid”) que permitía la visualización dinámica, binocular, de forma confortable, de las imágenes retinianas La línea científica puede decirse que ha constituido la base de muchos de los subsiguientes e incluso actuales desarrollos en el área de la visión en España.

Aparte de las tareas científicas, no debe pasarse por alto un hito relevante para la visión en España, como fue la celebración en Madrid de la 11 Reunión de la Comisión Internacional de Óptica ( ICO 1978). Este congreso cuyo comité organizador estuvo compuesto por Lorenzo Plaza como presidente, Julián Bescós como Secretario y Javier Santamaría como vicesecretario, representó un impulso importante para la visión que, a pesar de la relevancia que había tenido tradicionalmente en la ICO, en las ediciones anteriores había jugado un papel menor. La figura 6 presenta una fotografía de la portada del libro de resúmenes del congreso ICO-11. Este congreso permitió reasignar a España un papel relevante en el área de la visión, además de afianzar su posición en otras áreas de la óptica en que la contribución española fue asimismo muy destacada.

### 5. La situación actual

Un ejemplo del dinamismo de la investigación que se realiza en el campo actualmente lo dan los artículos que acompañan este número especial. Como mencionábamos en la introducción la presencia de la investigación española es hoy muy importante, y podemos considerarnos con justo orgullo un país líder del campo. Como un simple botón de muestra, la figura 7 presenta la evolución de las publicaciones de científicos españoles en la revista de la sociedad americana de Óptica (a partir de 1984 la sección A), desde los trabajos pioneros de Otero hasta nuestros días.

### 6. Apéndices

#### 6.1. Primeras tesis doctorales en Óptica Fisiológica

1943	Armando Durán	Estudio físico de la miopía nocturna
1944	José Cabello	Las causas de la miopía nocturna
1947	Pedro Jiménez Landi	Fórmulas de superficie para el estudio de aberraciones en los sistemas ópticos centrados
1947	Fermín Salaverri	Miopía nocturna: valores umbrales y ley de Riccò
1947	Luis Casero	El intervalo acromático
1952	Marcelo Carreras	El fenómeno de la miopía nocturna en los amétropes
1953	Lorenzo Plaza	Fidelidad en la reproducción de colores

1954	Josefa Yunta	Nuevo esquema de retina extrafoveal
1956	Justo Oliva	Unidades sensoriales y visión extrafoveal
1963	Enrique Sauras	El proceso de la integración retiniana en visión nocturna.
1965	Manuel González Chueca	Estudio sobre la acomodación del ojo en presencia de estímulos exteriores próximos al umbral de percepción.
1970	Angel García Franco	Estudio de la interdependencia ocular por electro-retinografía

#### 6.2. Primeras publicaciones internacionales en Óptica Fisiológica.

- J. M. Otero, L. Plaza, F. Salaverri, “Absolute thresholds and night myopia”, *J. Opt. Soc. Am.* **39**, 167, (1949)
- D. B. Judd, L. Plaza, D. Farnsworth, “Tritanopia with abnormally heavy ocular pigmentation”, *J. Opt. Soc. Am.* **40**, 833 (1950)
- J. M. Otero, “Influence of the state of accommodation on the visual performance of the human eye”, *J. Opt. Soc. Am.* **41**, 942 (1951)
- J. M. Otero, “Sobre las ametropías naturales de la visión nocturna”, *Atti de la Fondazione “Giorgio Ronchi”* **11**, 109 (1947)
- D. B. Judd, M. M Balcom, L. Plaza, “Report of the fidelity of color reproduction by the CBS and the RGA systems”, *Proceedings of the I.R.E.* **38**, 980 (1950)
- J. M Otero, J Yunta, M. Solís, “Unabhängigkeit der Form bei der Bestimmung der Wahrnehmungsschwelle. Die Fläche des Reizes als massgebende Grösse”, *Optik* **9**, 443 (1952)
- J. M Otero, L Plaza, “Report on night vision”, *Optica Acta* **1**, 3 (1953)
- M. Aguilar, W. S. Stiles, “Saturation of the rod mechanism of the retina at high levels of stimulation”, *Optica Acta* **1**, 59 (1954)
- J. Oliva, M. Aguilar, “Distribution des unités sensorielles dans l’extrafovea”, *Optica Acta* **3**, 36 (1956)
- J. Oliva, M. Aguilar, “Zones de sommation partielle”, *Optica Acta* **3**, 90 (1956)
- J. M Otero, L. Plaza. “Accommodation and night myopia”, *J. Opt. Soc. Am.* **41**, 1061 (1951)
- J. M Otero, “Measurement of accommodation in dim light and darkness by means of the Purkinje images”, *J. Opt. Soc. Am.* **43**, 925 (1953)
- M. Aguilar, “Sur la sommation binocular”, *Optica Acta* **2**, 105 (1955)



6.3. Algunas de las relaciones internacionales en Óptica Fisiológica.

- D. B. Judd. National Bureau of Standards, Washington DC, USA
- W. S. Stiles. National Physical Laboratory, London, UK
- Yves Le Grand, Museum d'Histoire Naturelle, París, Francia
- Albert Arnulf, Universidad de la Sorbonne, París
- August Köhl, Universidad de Jena
- R. Granit, Med. Nobel Institute, Estocolmo 1953-
- G. Wald, Harvard University, Cambridge, Mass, USA 1953-
- M. W. Morgan, University of California, School of Optometry, Berkeley, USA 1955-