

Estudio retrospectivo sobre el desarrollo del láser *speckle* desde 1960-2022

Carlos Leal

Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas
Centro de Agricultura Tropical
Laboratorio de Óptica Aplicada
orcid: 0000-0003-2553-9996
cleal78@gmail.com
Mérida-Venezuela

Fecha de recepción: 12/02/2023

Fecha de aprobación: 08/03/2023

Resumen

Se realizó una investigación retrospectiva de tipo bibliométrico, para analizar los avances en la interferometría *speckle*, mediante la revisión de la base de datos Google Académico, para la cual se analizó la evolución temporal de 41.638 publicaciones en total. Por otra parte, de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, se examinaron 1.009 patentes registradas; y, por último, se analizaron datos provenientes de las investigaciones hechas en la ciudad de Mérida-Venezuela. Se hizo el análisis de la evolución temporal para el período 1960-2022, lo que equivale a 62 años, seccionada en tres períodos, a saber: de 1960 a 1969; 1970 a 2002 y 2003 a 2022. Para ello se efectuó un ajuste de función lineal, mostrando la máxima pendiente para la producción de artículos

anuales de $118,5 \pm 7,7$, con un R^2 de 0,926; y para patentes de $4,91 \pm 0,79$, con un R^2 de 0,666; entre el 2003 al 2022. Se obtuvo, además, que la producción de artículos en Mérida sumaba 13 en total, con 130 citas. Adicionalmente, se encontró un total de 24 tesis de pregrado y maestría entre los años 2011 - 2022, con énfasis en el diseño y desarrollo de instrumentación propia (por reflexión y transmisión). Se realizó el ajuste de una función tipo Boltzmann, para el estudio de los artículos acumulados por año, obteniéndose un R^2 de 0,999; y para el caso de las patentes, se obtuvo un R^2 de 0,995. Los resultados arrojan un avance significativo en los próximos 93 años en esta línea de investigación.

Palabras clave:

Láser; *speckle*; bibliometría; número de publicaciones; número patentes

Retrospective study on the development of *speckle* laser from 1960-2022

Abstract

Retrospective research of bibliometric type is carried out, to analyze the advances in speckle interferometry, through the revision of the Google Scholar database, valuing the temporal evolution of 41.638 publications; data of the World Intellectual Property Organization, for the 1.009 registered patents and data on the research carried out in the city of Mérida-Venezuela. Analyzing the temporal evolution from 1960 to 2022, sectioned into three periods: from 1960 to 1969, 1970 to 2002, and 2003 to 2022. Adjusting a linear function, showing the maximum slope for the production of annual articles of 118.5

± 7.7 ; with an R^2 of 0.926, and for patents of 4.91 ± 0.79 ; an R^2 of 0.666; between 2003 to 2022. The production in Merida of 13 articles with 130 citations, 24 undergraduate and master theses between the years 2011 to 2022, design and development of own instrumentation (by reflection and transmission). The adjustment of a Boltzmann-type function is made for the study of the accumulated articles per year, with an R^2 of 0.999, and for patents an R^2 of 0.995; foreseeing a significant advance in the next 93 years in this line of research.

Keywords:

Laser, *speckle*, bibliometric; publications; patents

Introducción

La interferometría de moteado o *speckle* sientan sus bases en la década de los 60', cuando se construyó el primer láser (acrónimo en inglés *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), desarrollado en *Hughes Research Laboratories*, por el físico estadounidense Theodore Harold Maiman, con una longitud de onda de 694 nm (rojo), publicado en la revista *Nature*, el 6 de agosto de 1960, luego, de que este fuera rechazado por la revista *Physical Review Letters* (Bilmes, 2012).

El láser es una fuente de radiación electromagnética caracterizada por ser monocromática, con una alta coherencia temporal y espacial, altamente colimado, de alta potencia, pulsos cortos y amplio rango en longitud de onda, que permite diversidad de aplicaciones, que van desde telecomunicaciones, medicina, industria, defensa, investigación y desarrollo, entre otros.

La física del láser ha representado un área importante de investigación. Y, aunque es relativamente nuevo, ha sido galardonado con 5 Premios Nobeles en Física. En 1964, los físicos Charles Hard Townes, Nicolay Gennadiyevich Basov y Aleksandr Mikhailovich Prokhorov recibieron el primero de estos premios por sus valiosas contribuciones al campo de la electrónica cuántica, que ha permitido la creación de osciladores y amplificadores basados en el principio del máser-láser. En 1981, los físicos Nicolaas Bloembergen y Arthur Leonard Schawlow reciben el segundo premio por sus aportes al desarrollo de la espectroscopia láser. En 1997, los físicos Steven Chu, Claude Cohen-Tannoudji y William D. Phillips reciben el tercero por el desarrollo de técnicas para enfriar y capturar átomos mediante la luz láser. En 2005, se otorga el cuarto

premio a los físicos Roy J. Glauber por contribuir con la teoría cuántica de la coherencia óptica, y John L. Hall y Theodor W. Hänsch por sus aportes al desarrollo de la espectroscopia de precisión basada en láser, incluyendo la técnica de peine de frecuencia óptica. En 2018, se otorga el quinto premio a los físicos Arthur Ashkin y Gérard Mourou por su desarrollo de la pinza óptica y su aplicación en sistemas biológicos, así como a Donna Strickland y Arthur Ashkin por su técnica para producir pulsos ópticos ultracortos de alta intensidad.

Al comenzar sus operaciones el primer láser de *HeNe* en 1960, reveló un fenómeno inesperado. Los objetos vistos con una luz altamente coherente adquieren una apariencia granular peculiar, la estructura detallada de esta granularidad no tiene una relación obvia con las propiedades macroscópicas del objeto iluminado, sino que parece caótico y desordenado; cuando la luz coherente se refleja de forma difusa desde una superficie en una escala aproximada de una longitud de onda, la onda resultante a la distancia (plano de observación) consta de muchos frentes de ondas coherentes, cada una de las cuales surge de un elemento microscópico diferente debido a la irregularidad de la superficie. Las propiedades estadísticas de los patrones de motas observados en un plano después del espacio libre, fue descrita por primera vez en 1965 por el físico Goldfischer (Dandliker, 2000).

El principio fundamental que describe la técnica del láser *speckle* es que una superficie ópticamente rugosa se ilumina con una fuente de luz coherente. Según el principio de Huygens-Fresnel, el campo óptico en un punto de observación es igual a la suma

coherente de las ondas emitidas por cada centro dispersor (la rugosidad de la superficie iluminada), lo que produce un patrón de interferencia, que es un fenómeno estadístico que ocurre siempre que la luz coherente esté sometida a fluctuaciones aleatorias de fases. El patrón observado comienza a variar con el tiempo y se conoce como *speckle* dinámico si hay movimientos en la superficie rugosa o en el centro de dispersión, o si hay cambios temporales en el medio de transmisión o la fuente de luz (Leal, 2020).

Existe un gran número de aplicaciones, en diversas áreas, que hacen uso de la técnica de *speckle*. Así, a medida que evolucionan las técnicas de almacenamiento y procesamiento, se hace más accesible de implementar en nuevos fenómenos, porque permite estudios sin contacto, no destructivos, en la mayoría de los casos no perturbativos y en tiempo real o casi real. Estas particularidades que atraen a investigadores de distintas ramas como, por ejemplo, para la caracterización de muestras biológicas, aplicaciones agrícolas, aplicaciones médicas, monitoreo de bacterias y virus, ensayos no destructivos como secado de pintura y corrosión, mediciones de tensiones y deformaciones en distintos materiales, medición de tensión residual, análisis de fractura y torsión de metales, detección de fugas en contenedores, análisis de comportamiento termomecánico de componentes electrónicos; así como también al supervisar el movimiento de partículas en un líquido, medir la velocidad de objetos difusos y medir distancias (Patiño, 2021).

En Venezuela, dicha técnica ha sido desarrollada ampliamente desde el 2010, a partir de la visita a la ciudad de Mérida del Dr. Luis Martí López, mediante la cooperación entre el Laboratorio de Óptica Aplicada (LOA-IVIC, en adelante) del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC, en adelante), la

Facultad de Farmacia y Bioanálisis de la Universidad de los Andes (FFB-ULA, en adelante) de la Universidad de Los Andes (ULA, en adelante), y trabajos en paralelo en el Laboratorio de Ecología Sensorial (LES-IVIC, en adelante); desarrollando diversas áreas de interés, las cuales se muestran a continuación:

1. Se realizó la propuesta de un método para caracterizar el moteado dinámico, basado en la diferencia temporal de secuencias consecutivas -o no- de imágenes, para lo cual se definió la diferencia entre imagen, como la magnitud derivada de la actividad media y actividad acumulada de las muestras. Los resultados obtenidos sugieren que el método puede ser útil para caracterizar superficies difusas y fenómenos similares (Martí-López et al., 2010).
2. Posteriormente, se usó el láser *biospeckle*, para controlar la acción de un fármaco específico sobre parásitos de *T. cruzi*, demostrando y validando el *biospeckle* como un método rápido, no invasivo y alternativo para probar fármacos candidatos en el tratamiento de ese tipo de parásitos (Ansari et al., 2016).
3. La técnica anteriormente descrita, fue empleada para la medición de la acción de fármacos sobre bacterias y parásitos, demostrando ser exitosa, para el seguimiento de la actividad en el tiempo. Adicionalmente, se encontró que el procesamiento de imágenes digitales adoptadas es adecuado para controlar la motilidad y los cambios morfológicos en la población bacteriana a lo largo del tiempo, y para detectar y distinguir la acción de un fármaco a corto plazo sobre parásitos (Ramírez-Miquet et al., 2017).

4. Finalmente, se realizó el diseño y construcción de un prototipo de biospecklemetro por reflexión, de bajo costo; midiendo cambios en la motilidad y el efecto de los antibióticos en bacterias, en muestras de orina y estudios de colonias de diferentes microorganismos en agar Mueller-Hinton (Grassi et al., 2022).
5. En 2020, y enmarcado en la convocatoria del Plan Nacional de Innovación Tecnológica (PNIT, en adelante), se obtuvo el financiamiento para el proyecto titulado “Determinación de la calidad de semen bovino mediante *speckle* dinámico”, por el Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (Fonacit, en adelante). A través de este proyecto se realizaron las investigaciones para caracterizar el fluido seminal por medio de *speckle* dinámico. Se hizo la propuesta de una metodología para la determinación del tiempo de licuefacción de muestras de semen fresco, siendo que este juega un rol importante en la reproducción, puesto que es un indicador del estado clínico de la actividad prostática y refleja la función de las glándulas sexuales accesorias. Con este estudio se planteó desarrollar nuevos métodos estandarizados de análisis, que permitan la evaluación del líquido seminal, teniendo mayor precisión, exactitud y baja dependencia del error humano, para aumentar y mejorar el proceso reproductivo de cualquier especie, como es el caso de la ganadería nacional (Leal, 2020).
6. Otro trabajo llevado a cabo con la técnica de *speckle* dinámico, en el Laboratorio de Ecología Sensorial del IVIC, fue el estudio de la respuesta a la hidratación y desecación de semi-

llas de *Physalis* peruviana L. (uchuva), donde se observa que el patrón de actividad de *speckle* dinámico de semillas hidratadas, es mayor que el patrón de actividad de semillas secas; y que a través del procesado digital de una secuencia de imágenes, es posible medir esta diferencia (Inciarte et al., 2012).

Los seis puntos previamente expuestos ilustran los esfuerzos llevados a cabo en el IVIC, tras el proceso de regionalización de la institución, con la creación del Centro Multidisciplinario de Ciencias en 2008, ubicado en la ciudad de Mérida-Venezuela, el cual para el 2023 sería denominado Centro de Agricultura Tropical. El propósito primordial de este centro consiste en fomentar la aplicación de la ciencia en la resolución de problemas cuyo alcance sea nacional.

Ahora bien, y como se mencionó anteriormente, otros datos fueron analizados en este trabajo, desde un enfoque bibliométrico. Así la Bibliometría es la ciencia que estudia los documentos científicos que se publican, así como también la información que contienen y producen.

Se hizo un análisis cuantitativo y estadístico de las publicaciones realizadas en los diferentes soportes, tales como: las revistas, repositorios científicos, bases de datos, entre otros (Leyva et al., 2023). Para ello fue tomado en cuenta el desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación, el Internet, el crecimiento de nuevas herramientas académicas en línea y los avances en el Acceso Abierto a la producción científica; así como las nuevas métricas alternativas, las cuales tienen como función medir el impacto social de los trabajos académicos publicados (Sixto-Costoya et al., 2019).

Frente a lo anterior, nos preguntamos, ¿cómo medir el impacto de las líneas de investigación que se están desarrollando? De ahí que la finalidad de este artículo, fue hacer una revisión bibliográfica de la evolución temporal del número de publicaciones y patentes en el área de la tecnología *speckle*, destacando su importancia para el desarrollo debido a su versatilidad y aplicabilidad en diversos temas del quehacer científico, para el fomento de la investigación y desarrollo, con alcance nacional. Adicionalmente, se empleó como herramienta de apoyo los indicadores bibliométricos, los cuales se han convertido en una herramienta metodológica de gran utilidad, para medir la calidad y el impacto de la producción científica, y fungir como indicativo de las líneas de investigación a desarrollarse.

Metodología

Se realizó una investigación de tipo documental, retrospectiva y bibliométrica, para analizar los avances en la interferometría de moteado o láser *speckle*, en artículos y patentes que abordaran la temática. Los textos analizados se obtuvieron de bases de datos de carácter público. El estudio se hizo temporal, para lo cual se sumaron 62 años en total, divididos en tres momentos, a saber: de 1960 a 1969, de 1970 a 2002, y de 2003 a 2022. Adicionalmente, y para el análisis temporal de los artículos, se tomó la base de datos de *Google Scholar* (<https://scholar.google.es/>), mientras que, para el análisis de las patentes, se consideró la base de datos *PATENTSCOPE* (<https://patentscope.wipo.int>), de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual *WIPO* (siglas en inglés de *World Intellectual Property Organization*), utilizando como palabra clave “Láser *Speckle*”. Esto, para un período comprendido entre 1960 a 2022, y con el fin de conocer la evolución de dicha tecnología en el ámbito internacional.

Finalmente, se hizo una revisión de la evolución de la tecnología *speckle* en el país, recurriendo a las bases de datos públicas de los Servicios Bibliotecarios de la Universidad de Los Andes (Serbiula, en adelante) (<http://www.serbi.ula.ve/>), para localizar las tesis de pregrado y maestría relacionadas con el tema. Luego, se recopiló la información de las investigaciones realizadas en el Laboratorio de Óptica Aplicada y Laboratorio de Ecología Sensorial del Centro de Agricultura Tropical del Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas y la Facultad de Farmacia y Bioanálisis de la Universidad de Los Andes (FFB-ULA, en adelante), ubicadas en la ciudad de Mérida, Venezuela. Ello, con la finalidad de realizar un análisis estadístico bibliométrico del número de artículos y patentes por año,

el número acumulado de los mismos; y finalmente, el número de artículos y tesis desarrolladas.

sarrollo de los dispositivos de cargas acopladas CCD, iniciando estos su desarrollo en 1969, en los laboratorios Bell (AT&T).

Resultados

Al analizar las tendencias de investigación y el desarrollo de la técnica *speckle*, así como la revisión del número de artículos publicados anualmente, se determinó que existe una tendencia anual en el incremento del número de publicaciones, con un aumento significativo a partir del año 2003, lo cual es un indicativo del creciente interés de la comunidad científica sobre este tema. Y, como se puede apreciar, el número de publicaciones no ha disminuido en los últimos 52 años, manteniéndose el incremento como una tendencia que va progresivamente en aumento.

Haciendo un análisis de la Figura N° 1, y segmentando la información en tres períodos, con un ajuste lineal para cada uno de ellos, se obtuvo lo siguiente: para el primer momento que va desde 1960 a 1969 (inicio del desarrollo de esta técnica), se encontró una pendiente de $0,92 \pm 0,43$ y un R^2 de 0,284; lo que representa el incremento de un artículo por año. Los trabajos iniciales son con interferometría de patrón de motas electrónicas (ESPI siglas en inglés de *Electronic Speckle Pattern Interferometry*) realizados a finales de 1970, mucho antes de la existencia de cámaras CCD (acrónimo en inglés de *charge-coupled device*) y de la fotografía digital. El segundo momento, que va de 1970 a 2002, con una pendiente de $19,11 \pm 0,38$, y con un R^2 de 0,987; se halló un incremento superior a 20,77 veces el número de publicaciones efectuadas si se compara al período anterior. Este cambio está relacionado con la invención de las primeras computadoras personales para la década de los 70', y el de-

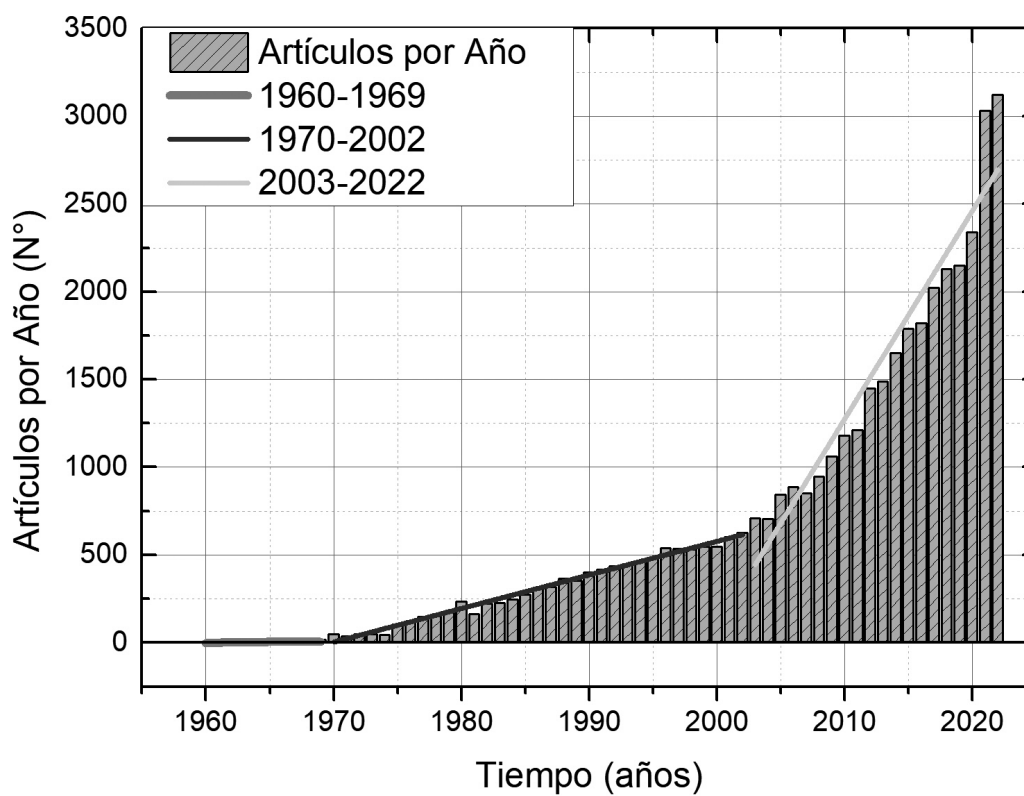


Tabla N° 1. Producción anual de artículos sobre láser *speckle*

Años	N° Artículos	N° Artículos acumulados	Años	N° Artículos	N° Artículos acumulados	Años	N° Artículos	N° Artículos acumulados
1960	0	0	1981	164	1354	2002	627	10252
1961	3	3	1982	224	1578	2003	708	10960
1962	1	4	1983	226	1804	2004	706	11666
1963	0	4	1984	247	2051	2005	844	12510
1964	0	4	1985	275	2326	2006	886	13396
1965	0	4	1986	313	2639	2007	853	14249
1966	0	4	1987	318	2957	2008	946	15195
1967	3	7	1988	365	3322	2009	1060	16255
1968	4	11	1989	353	3675	2010	1180	17435
1969	15	26	1990	402	4077	2011	1210	18645
1970	50	76	1991	415	4492	2012	1450	20095
1971	36	112	1992	436	4928	2013	1490	21585
1972	51	163	1993	449	5377	2014	1650	23235
1973	50	213	1994	459	5836	2015	1790	25025
1974	45	258	1995	485	6321	2016	1820	26845
1975	104	362	1996	538	6859	2017	2020	28865
1976	122	484	1997	536	7395	2018	2130	30995
1977	148	632	1998	530	7925	2019	2150	33145
1978	150	782	1999	548	8473	2020	2340	35485
1979	173	955	2000	549	9022	2021	3030	38515
1980	235	1190	2001	603	9625	2022	3120	41635

Fuente: Elaboración propia del autor, (2023).

Figura N° 1. Producción anual de artículos sobre láser *speckle*

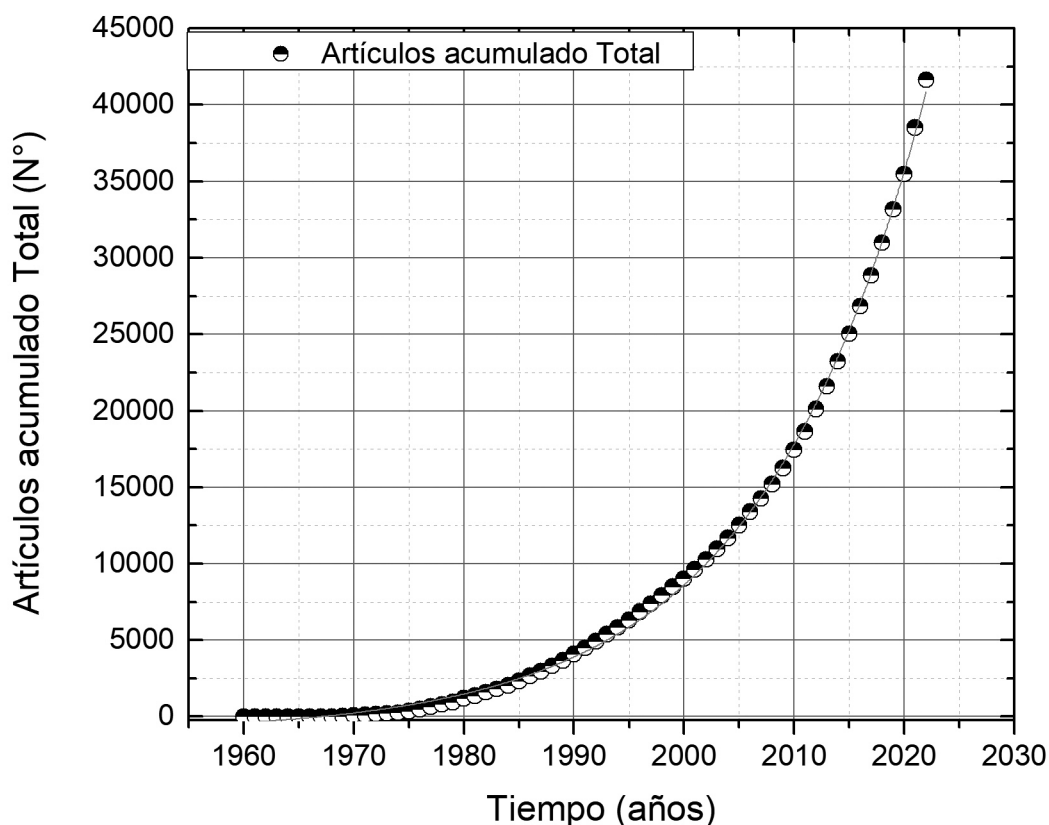


Fuente: Elaboración propia del autor, (2023).

Entre 2003 al 2022, se apunta a un incremento en el número de artículos, obteniéndose la pendiente de mayor magnitud para los tres períodos examinados, con un valor de $118,5 \pm 7,7$, un R^2 de 0,926, y con un incremento de 6,2 veces el número de publicaciones realizadas con respecto al período anterior. Esto, tal vez motivado al avance en las tecnologías de procesamiento, la masificación de las tecnologías CCDs y el desarrollo de las tecnologías CMOS (acrónimo en inglés de *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*) iniciado en la década de los 90'. Es decir, se pasa de un incremento menor de 1 artículo por año, desde 1960 a 1969, a 21 artículos por año desde 1970 a 2002; y, finalmente, 119 artículos por año desde 2003 a 2022.

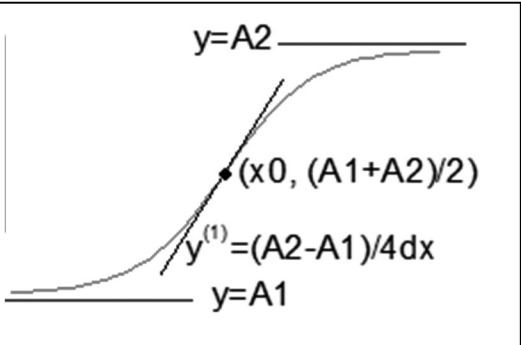
Otro punto de interés, se ilustra en la Figura N° 2, del número acumulado de artículos por año, con la finalidad de evaluar si el valor acumulado de artículos se detiene a partir de un tiempo dado; es decir, si esta curva presenta una meseta, lo que significa que ha bajado el número de artículos publicados sobre la temática. Cumpliendo con el ajuste de una función tipo Boltzmann, con un R^2 de 0,999; para lo cual se muestran los parámetros de ajustes en la Tabla N° 2. Se empleó esta función de Boltzmann, debido a que tiene la particularidad de presentar un comportamiento asintótico, representado por el parámetro de ajuste A2, como se predice para el comportamiento esperado, a diferencia del modelo lineal utilizado en el modelo de Bradford (Boeris, 2010).

Figura N° 2. Producción anual acumulada de artículos sobre *speckle*



Fuente: Elaboración propia del autor, (2023).

Tabla N° 2. Parámetros de Ajustes de la función tipo Boltzmann propuesta

$Y = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{(X-X_0)/dx}} + A_2$		
R ²	0,999	
Parámetros de ajustes	Valor	Error
A1	-1084	151
A2	2,17E'	0,61E'
x0	2116	426
dx	15,01	0,54

Fuente: Elaboración propia del autor, (2023).

De la Figura N° 2 y Gráfico N° 2 se desprende lo siguiente: el crecimiento en el número de artículos comenzará a disminuir a partir del parámetro x_0 de 2.116 ± 426 , que expresa el punto donde la pendiente de la función cambia de sentido, es decir, comienza a decrecer, expresando que, de seguir el comportamiento de la función, la curva comenzará a acortarse en el 2116, es decir en 93 años. De ahí, que se esperarí un desarrollo de importancia en esta línea de investigación. Hay que destacar que el número total de artículos desde 1960 a 1969 es de 26 en total; para 1970 al 2002 de un total de 10.226; y del 2003 al 2022 de 31.383 en total. El total de artículos publicados entre los años 1960 al 2022 suman 41.638, lo que equivale a decir que es una producción significativa dentro de la temática investigada.

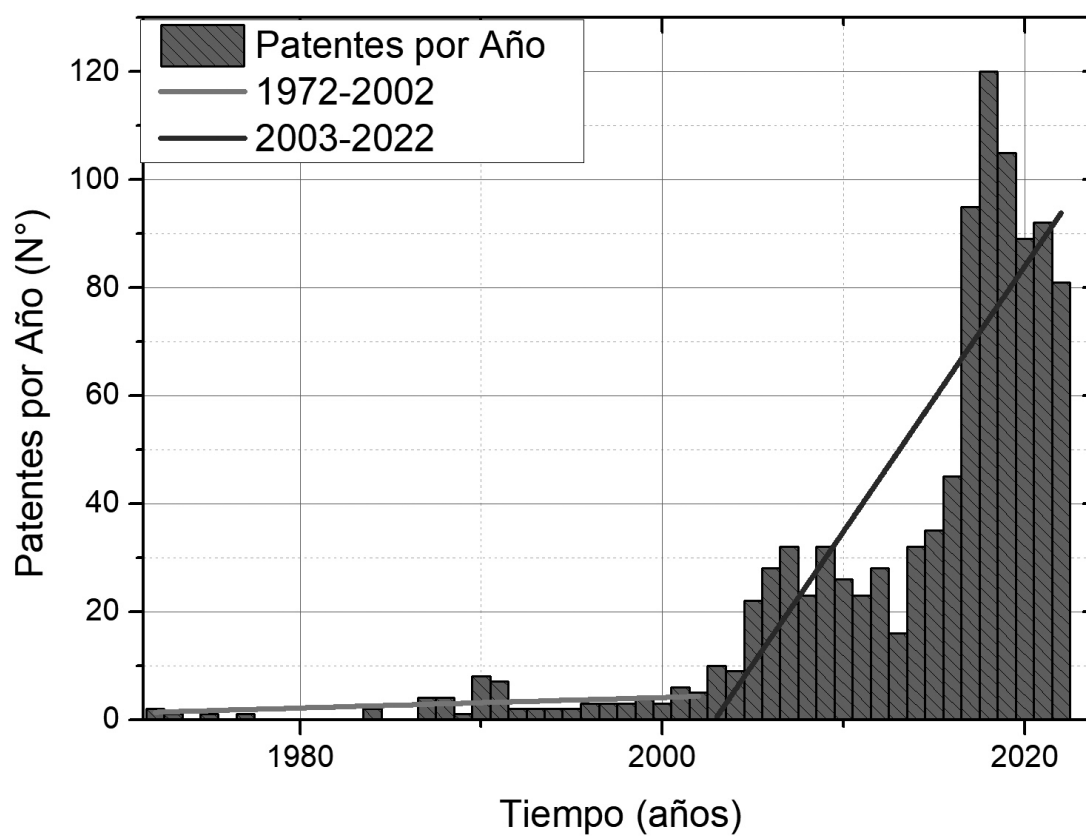
Para el caso de las patentes, los resultados obtenidos en la base de datos de *PATENTSCOPE*, apuntan a que hay un registro de 1.009 patentes (ver Tabla N° 3) a partir de 1972. En la Figura N° 3 la tendencia del comportamiento general es en aumento, a diferencia de la Figura N° 1. El modelo lineal propuesto para los períodos de 1972 a 2002 y de 2003 a 2022 los parámetros de ajustes no son buenos, siendo que para el primer período se encontró un R^2 de 0,165 con pendiente de $0,098 \pm 0,044$, y para el segundo, un R^2 de 0,666 con pendiente de $4,91 \pm 0,79$. Hay que destacar que no se encontraron patentes para el período de 1960 a 1969, siendo ello un dato muy importante.

Tabla N° 3. Producción anual de patentes relacionadas con láser *speckle*

Años	N° Patentes	N° Patentes acumuladas	Años	N° Patentes	N° Patentes acumuladas	Años	N° Patentes	N° Patentes acumuladas
1972	2	2	1996	3	42	2010	26	248
1973	1	3	1997	3	45	2011	23	271
1975	1	4	1998	3	48	2012	28	299
1977	1	5	1999	4	52	2013	16	315
1984	2	7	2000	3	55	2014	32	347
1987	4	11	2001	6	61	2015	35	382
1988	4	15	2002	5	66	2016	45	427
1989	1	16	2003	10	76	2017	95	522
1990	8	24	2004	9	85	2018	120	642
1991	7	31	2005	22	107	2019	105	747
1992	2	33	2006	28	135	2020	89	836
1993	2	35	2007	32	167	2021	92	928
1994	2	37	1995	2	39	2022	81	1009
1972	2	2	2008	23	190			
1995	2	39	2009	32	222			

Fuente: Elaboración propia del autor, (2023).

Figura N° 3. Producción anual de patentes sobre láser *speckle*



Fuente: Elaboración propia del autor, (2023).

Al revisar el comportamiento de las patentes por oficina, como se muestra en la Tabla N° 4, el mayor número de patentes son registradas en China, con el 45,94 % del total; seguido por los Estados Unidos, con un 19,60 %. Entre ambos países suman un total de 65,54 % de registros. Estos resultados significan que, tanto China como los Estados Unidos, son los países con el mayor número de avances tecnológicos rela-

cionados con esta área. Las otras oficinas de relevancia son la WIPO, Oficina Europea de Patentes (OEP, en adelante) y República de Corea. El resto de las oficinas solo representan el 11,39 % del total, entre los cuales se destacan Japón, Canadá, Alemania, India, Australia, Reino Unido, Federación Rusa, Israel, Austria, Nueva Zelandia, Singapur, Indonesia, Malasia, México, Países Bajos y Polonia (WIPO, 2023).

Tabla N° 4. Producción de patentes por oficina

Oficina Patente	N° de patentes	%
China	464	45,94
Estados Unidos de América	198	19,60
Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO)	101	10,00
Oficina Europea de Patentes (OEP)	75	7,43
República de Corea	57	5,64
Resto del mundo	115	11,39

Fuente: Elaboración propia del autor, (2023).

Entre las principales instituciones registradoras de patentes están las empresas *The Wave Talk* de La República de Corea, con un total de 23 registros y *Samsung Electronics Corporation Inc* con un total de 18 registros. Países como Estados Unidos, tiene las empresas *The General Hospital Corporation* con 22 registros en total; *Vasoptic Medical Inc* con 16 en total; *Activ Surgical Inc* con un total de 12 registros; *The Johns Hopkins University* con un total de 11 registros; y *Magic Leap Inc* con 12 registros en total. Por su parte, China, tiene las empresas *Goertek Tech Corporation Inc* con 14 paten-

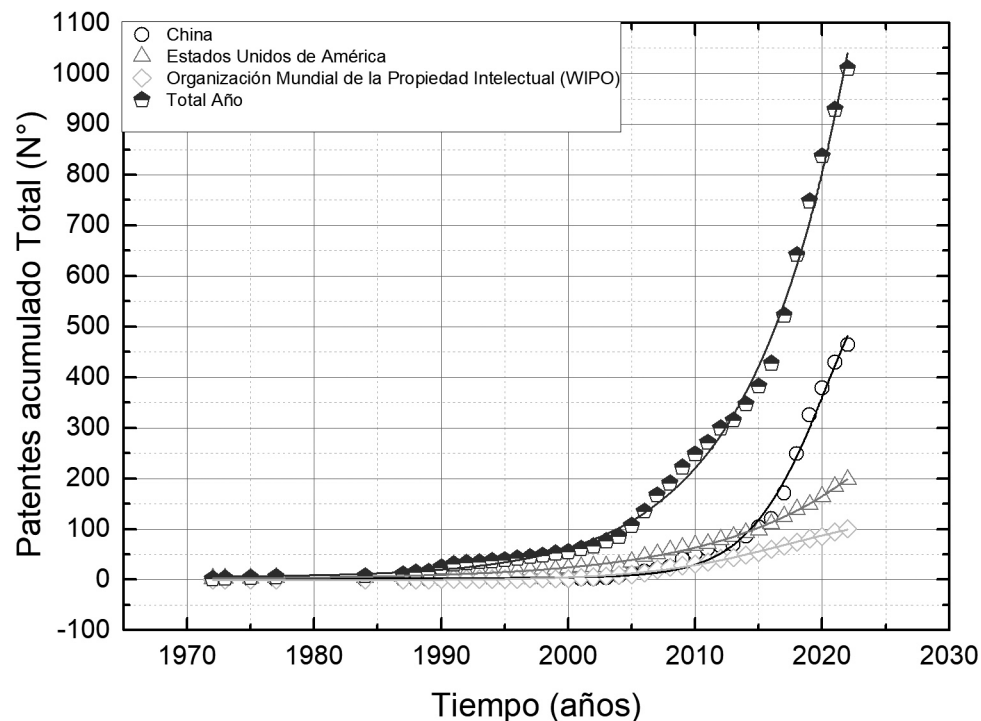
tes en total, y *Huazhong University of Science and Tech* con 11 registros. Por su parte, Japón, tiene la empresa *Kyushu Intitute of Tech* con un total de 11 patentes registradas. Puede afirmarse que las instituciones con mayor número de patentes registradas son del área de tecnología y de la salud. En cuanto a los inventores destacados se pueden mencionar a los siguientes: de China, Li Pengcheng y Yang Lebao con un total de 14 registros para cada uno; Ge Chenyang con un total de 13; Gao Songbai y Wu Li con un total de 9 registros para cada uno; y Chen Yanping con 8 en total.

En Estados Unidos se destacan Rege Abhishek con un total de 11 registros y Seemantini K. Nadkarni con 9. Mientras que en Japón se encuentran los inventores Fujii Hitoshi con un total de 10 patentes registradas y Konishi Naoki con 9. En definitiva, el predominio de investigadores con mayor número de patentes registradas se encuentra en China, para un total de 67 (WIPO, 2023).

El comportamiento de las patentes acumuladas por año, al igual que el número de publicaciones, cumple con el ajuste de una función de tipo *Boltzmann* (ver Figura N° 4) con R^2 de 0,995 y un x_0 de

2.047 ± 31 , pronosticando el aumento del número de patentes en los próximos 25 años, siendo un comportamiento menor en comparación al número de publicaciones. Hay que destacar que el comportamiento de la función experimentó una desaceleración en el 2019, incrementándose esta por la pandemia en el 2020. En la Figura N° 4 se muestra el comportamiento de las tres principales oficinas de registro de patentes, las cuales se encuentran en China, Estados Unidos y la WIPO, todas cumplen con el ajuste propuesto, con un R^2 de 0,991; 0,997 y 0,997, respectivamente. No obstante, el mayor crecimiento es el de China, destacando sobre los demás.

Figura N° 4. Producción anual acumulada de patentes sobre láser *speckle*
Producción total y principales países



Fuente: Elaboración propia del autor, (2023).

Por otra parte, se analizaron las publicaciones hechas por el Laboratorio de Óptica aplicada (LOA-IVIC), la Facultad de Farmacia y Bioanálisis de la Universidad de Los Andes (FFB-ULA) y el Laboratorio de Ecología Sensorial (LES-IVIC), con la producción de tesis de pregrado, postgrado y producción de artículos a partir desde 2011 al 2022. Para el caso de las tesis (ver Tabla N° 5), donde se han producido un total de

24 entre pregrado y postgrado, se encontró que 23 de las tesis desarrolladas corresponden a la FFB-ULA, mientras que una de estas, a la LOA-IVIC. No obstante, para esta última, se esperaría un ascenso de tres tesis para fines del 2023. Estos datos representan un aporte significativo en la formación de talento humano especializado, para lo cual han sido atendidos un total de 29 estudiantes.

Tabla N° 5 . Producción de tesis de pregrado y postgrado de FFB-ULA y LOA-IVIC

Año	N° Tesis FFB-ULA	N° estudiantes	N° Tesis LOA-IVIC	N° estudiantes
2011	4	4	---	---
2013	2	4	---	---
2015	6	6	---	---
2016	2	2	---	---
2018	5	5	---	---
2021	1	1	1	1
2022	3	3	---	---
En desarrollo	---	---	3	3
Total	23	25	4	4

Fuente: Elaboración propia del autor, (2023).

Con respecto al número de artículos se encontró que hay un total de 13 artículos publicados, esto tanto para revistas nacionales como internacionales, como se muestra en la Tabla N° 6. El mayor número de artículos fueron en coautoría entre el LAO-IVIC y FFB-ULA, para un total de siete, representando ello el 53,8 % de la producción total; seguido por la producción del LOA-IVIC, con un 23,1 %. Mientras que, en los casos de publicaciones realizadas por los institutos sin

la colaboración de otros, se halló que para LES-IVIC hubo un 15,4 %, y para el caso de FFB-ULA un 7,7 %. En cuanto al uso de las citas, de un total de 130 citas, existe una media de 10 citas por artículo publicado. Esto muestra el alto impacto que tiene sobre la comunidad científica, localizada en la ciudad de Mérida-Venezuela, la producción intelectual realizada en coautoría, en esta área de investigación.

Tabla N° 6. Producción de artículos de FFB-ULA, LOA-IVIC y LES-IVIC

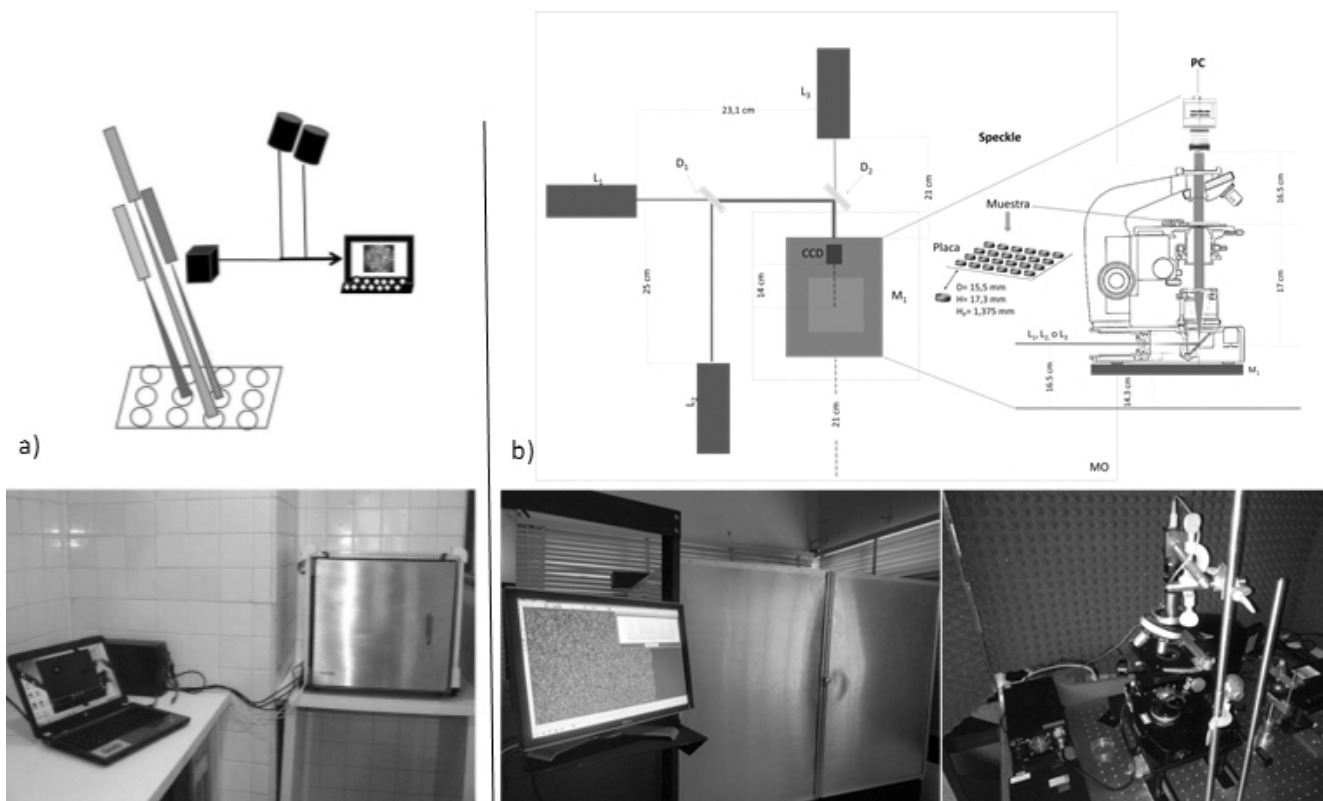
Año	FFB-ULA	LOA-IVIC	FFB-ULA +LOA-IVIC	LES-IVIC	Total artículos	N° Citas
2010	---	1	---	---	1	42
2012	---	---	---	3	3	4
2016	---	---	3	---	3	42
2017	---	---	1	---	1	29
2018	---	---	1	---	1	---
2019	---	1	1	1	3	13
2020	---	1	---	---	1	---
2021	---	---	1	---	1	---
2022	1	---	---	---	1	---
Total	1	3	7	4	15	130

Fuente: Elaboración propia del autor, (2023).

Es importante destacar que para el desarrollo de las investigaciones en el LOA-IVIC y FFB-ULA se diseñaron dos montajes experimentales, con características particulares, mostrando no solo la productividad científica del IVIC y la ULA, sino la capacidad de generar nuevas tecnologías. El desarrollado en la FFB-ULA se trató de un montaje con tres longitudes de ondas, con 405 nm (azul), 532 nm (verde) y 650 nm (rojo), láseres de potencia fija, *speckle* subjetivo por reflexión, una cámara CCD (I-Home camera) de 1.080x720 píxeles de 9 μm , diseñados por los profesores Edren Andrade y Cristina Grassi (ver Figura N° 5-a), denominado Biospequelometro (Grassi et al., 2022).

El montaje desarrollado en el LOA-IVIC también contó con tres longitudes de ondas, con 447 nm (azul), 532 nm (verde) y 660 nm (rojo), láseres de potencia variable (hasta 3 W), *speckle* subjetivo, una cámara CCD (Thorlab - DCU223C) de 1.024x768 píxeles de 4,65 μm , en una cámara anecioca, diseñado por Carlos Leal (ver Figura N° 5-b). Este experimento representó un desarrollo tecnológico nacional de importancia debido a la posibilidad de adquirir datos en tres longitudes de ondas.

Figura N° 5. Montajes experimentales de diseño propio con tres longitudes de onda
a) *speckle* por reflexión FFB-ULA. b) *speckle* por transmisión LOA-IVIC



Fuente: a) Grassi et al., (2022). b) Elaboración propia del autor, (2023).

Conclusión

La línea de investigación láser *speckle* representa un área de interés en la comunidad científica debido a su versatilidad, con aportes en diversas aplicaciones. Ello, se evidencia en el alto número de artículos publicados y patentes registradas desde su desarrollo en la década de los 60', y hasta el 2022.

El número de artículos publicados muestra un incremento sostenido desde 1970, a partir del 2003 se registra un aumento considerable, pasando de 627 artículos a 3.120 en el 2022, con una pendiente de $118,5 \pm 7,7$ y con un R^2 de 0,926; para un ajuste de tipo lineal, para un total de 41.638 publicaciones entre 1960 a 2022.

Por otra parte, también se evidencia el aumento en el número de patentes registradas a partir del 2003, con una pendiente de $4,91 \pm 0,79$ y un R^2 de 0,666; observándose el predominio de países como China, sobre Estados Unidos, con el 45,94 % y 67 inventores. Se encontró que existe un total de 1.009 patentes registradas a nivel mundial.

En cuanto al número total acumulado de artículos y patentes, se propone el ajuste de una función de tipo *Boltzmann*, siendo adecuada para ajustar el comportamiento de los datos recaudados. Para el caso de las publicaciones totales acumuladas se obtiene un R^2 de 0,999 y un x_0 de 2.116 ± 426 , de seguir el comportamiento de los datos se puede estimar un desarrollo de importancia en los próximos 93 años. Para las patentes un R^2 de 0,995 y x_0 de 2.047 ± 31 , previendo un desarrollo relevante en los próximos 25 años.

En Mérida-Venezuela, entre el Laboratorio de Óptica Aplicada, la Facultad de Farmacia y Bioanálisis y el Laboratorio de Ecología Sensorial, se han publicado 13 artículos con un total de 130 citas, y con una media de 10 citas por artículo. Adicional a ello hay en desarrollo 24 tesis entre pregrado y postgrado en la Universidad de los Andes, atendiendo un total de 29 estudiantes entre los años 2011 al 2022, para lo cual se desarrollaron montajes experimentales de diseño propio. Lo anterior, representó un aporte significativo en la formación de talento humano altamente especializado. Por consiguiente, se demostró avances alcanzados en el país, específicamente en la región de los Andes, luego del plan de regionalización del *Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas* (IVIC).

Finalmente, los indicadores bibliométricos se han convertido en una herramienta de utilidad a nivel mundial para medir la calidad y el impacto de la producción científica, mediante la evolución temporal del número de publicaciones y patentes, demostrando la pertinencia de las líneas de investigación que se desarrollan.

Referencias

Ansari, M.; Cabrera, H.; Grassi, H.; Velásquez, A.; Andrades, E. y Mujeeb, A. (2021). *Application of Biospeckle Láser Method for Drug Testing on Parasites*. *Advanced Studies in Experimental and Clinical Medicine*. First Edition. Apple Academic Press.

Ansari, M.; Grassi, H.; Cabrera, H. y Andrades, E. (2016). *Real time monitoring of drug action on T. cruzi parasites using a biospeckle láser method*. *Láser Phys*, 26(6): 065603. DOI:10.1088/1054-660X/26/6/065603

Ansari, M.; Grassi, H.; Cabrera, H.; Velásquez, A. y Andrades, E. (2016). *Online fast Biospeckle monitoring of drug action in Trypanosoma cruzi parasites by motion history image*. *Láser in Medical Science*, (31), pp. 1447–1454.

Bilmes, G. (2012). *La Física y los físicos argentinos. Historias para el presente*. Capítulo: Historia del Láser en la Argentina. Argentina: Editorial Universidad Nacional de Córdoba.

Boeris, C. (2010). *Aplicación de métodos bibliométricos a la evaluación de colecciones: el caso de la Biblioteca del Instituto Argentino de Radioastronomía*. Trabajo de grado. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Argentina: Universidad Nacional de La Plata.

Dandliker, R. (2000). *The Story of Speckles in Interferometry*. Chapter: Interferometry in Speckle Light. Springer-Verlag.

Farzam, V.; Ramírez-Miquet, E.; Cabrera, H.; Habibi, M. y Reza, A. (2019). *Speckle pattern analysis*

of crumpled papers. *Applied Optics*, 58 (24): 6549. DOI:10.1364/AO.58.006549

Grassi, H.; Andrades, E.; Lobo, M. y Andrades, J. (2022). *A prototype biospecklemeter for microbiological analysis: a starting point for a potential digital-image láser antibiotic susceptibility test*. *Laser Phys*, 32(9): 095604. DOI 10.1088/1555-6611/ac8677

Grassi, H.; Velásquez, A.; Belandria, O.; Lobo-Sulbarán, M.; Andrades-Grassi, J. y Andrades, E. (2019). *Biospeckle laser digital image processing for quantitative and statistical evaluation of the activity of ciprofloxacin on Escherichia coli K-12*. *Laser Physics*, 29(7): 075603. DOI 10.1088/1555-6611/ab21d8

Grassi, H.; García, L.; Lobo-Sulbarán, M.; Velásquez, A.; Andrades-Grassi, F.; Cabrera, H.; Andrades-Grassi, J. y Andrades, E. (2016). *Quantitative Láser Biospeckle Method for the Evaluation of the Activity of Trypanosoma cruzi Using VDRL Plates and Digital Analysis*. *Plos Neglected Tropical Diseases*, 10(12): e0005169. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005169>

Inciarte, I.; Otálora-Luna, F.; Aldana, E.; Grumel, E. y Trivi, M. (2019). *Assessment of radicle germination in gooseberry's seeds by láser speckle*. *Revista CLIC*, 20, (10), pp. 58-69.

Inciarte, I.; Ramírez-Miquet, E.; Ramírez-Miquet, E.; Hernández, E.; Vilorio, A. y Otálora-Luna, F. (2012). *Procesado de patrones de speckle mediante dos métodos para medir la desecación de semillas de Uchuva (Physalis peruviana L.)*. *Interciencia*, 37 (9), pp. 644-650.

Leal, C. (2020). *Nuevo método para determinar el tiempo de licuefacción en semen fresco mediante spec-*

kle dinámico. Revista Conocimiento Libre y Licenciamiento CLIC, 22(11). Recuperado en abril de 2023 en: <https://convite.cenditel.gob.ve/revistaclic/index.php/revistaclic/article/view/1023>

Leyva, I.; Rodríguez, E.; Vázquez, M. y Ávila, E. (2023). *Indicadores bibliométricos y métricas alternativas en la evaluación de la producción científica*. Redinfohoi, Memorias. XXII Jornada Científica Provincial en Ciencias de la Información en Salud.

Martí-López, L.; Cabrera, H.; Martínez-Celorio, R. y González-Peña, (2010). *Temporal difference method for processing dynamic speckle patterns*. Optics Communications, 24(15), pp. 4972-4977. <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2010.07.073>

Patiño, M. (2021). *Análisis de speckle dinámico mediante filtrado por segmentación*. Trabajo de Grado para Optar al Título de Licenciado en Física. Departamento de Física. Universidad de Los Andes.

Ramírez-Miquet, E.; Cabrera, H.; Grassi, H.; Andrades, E.; Otero, I.; Rodríguez, D. y Darías, J. (2017). *Digital imaging information technology for biospeckle activity assessment relative to bacteria and parasites*. Láseres Med Sci Aug, 32(6), pp. 1375-1386.

Sixto-Costoya, A.; Alonso-Arroyo, A.; Lucas-Domínguez, R.; González, R. y Aleixandre-Benavent, R. (2019). *Bibliometría e indicadores de actividad científica (XIV): Métricas alternativas o alométricas. Nuevas formas de medir el impacto de la ciencia*. Acta Pediátrica Española, 77(3/4), pp. e44-e52.

The Nobel Prize (2023). *All Nobel Prize in Physics*. Recuperado en enero de 2023 en: <https://www.nobel-prize.org/prizes/lists/all-nobel-prizes-in-physics/>.

The World Intellectual Property Organization (WIPO). (2023). Recuperado en marzo de 2023 en: <https://patentscope.wipo.int/search/es/search.jsf>.