

Ensayo

El Grupo de Astrofísica Solar (GoSA) del Observatorio Astronómico Nacional de Colombia: 10 años indagando sobre la ciencia del Sol

The Group of Solar Astrophysics (GoSA) of the National Astronomical Observatory of Colombia: 10 years exploring the science of the Sun

Resumen

El Grupo de Astrofísica Solar (GoSA) del Observatorio Astronómico Nacional de Colombia es un grupo de investigación que se dedica al estudio de la astrofísica solar. El grupo cumplió su décimo aniversario en el 2022, período durante el cual ha contribuido significativamente a la investigación en astrofísica solar, la formación de estudiantes y la apropiación social de la ciencia en Colombia. Esta reseña abarca desde los aspectos relacionados con la investigación en la física del Sol, resaltando los principales logros del GoSA desde su conformación, hasta las perspectivas en los proyectos futuros para seguir profundizando en el entendimiento del Sol y los desafíos de este campo de investigación.

Palabras clave: Astrofísica; Sol; Física solar; Heliofísica; Colombia.

Abstract

The Group of Solar Astrophysics (GoSA) of the National Astronomical Observatory of Colombia is a research group dedicated to the study of solar astrophysics. The group celebrated its tenth anniversary in 2022. During these years, it has made significant contributions to solar astrophysics research, student education and training, and the social appropriation of science in Colombia. This review covers aspects related to its research in solar physics highlighting its main achievements since its creation and the perspectives for future projects to further deepen our understanding of the Sun and the challenges within this field of research.

Keywords: Astrophysics; Sun; Solar physics; Heliophysics, Colombia.

El estudio de Sol

La astrofísica solar, o heliofísica, es un campo de la astrofísica que se centra en el estudio de la estrella central de nuestro sistema solar, el Sol. La investigación en este campo es de gran relevancia para la comprensión de la física de las estrellas, de otros plasmas, y del impacto del Sol en la vida de nuestro planeta. Uno de los mayores logros de la investigación en astrofísica solar ha sido el desarrollo de los medios que han permitido a los científicos observar y medir los procesos físicos en las diferentes capas de la atmósfera solar con una precisión sin precedentes. El uso de técnicas como la espectroscopía, la heliosismología y la observación (remota e *in situ*) de la atmósfera solar ha permitido importantes avances en la comprensión de la física del Sol. Esto se ha conseguido mediante la medición de sus propiedades físicas, por ejemplo, la temperatura, la densidad, la velocidad y el campo magnético en diferentes regiones y bajo diferentes dinámicas y escalas. Además, se han podido observar y estudiar eventos de actividad solar asociados con la generación de manchas solares, erupciones y eyecciones de masa coronal, lo que ha permitido ampliar el conocimiento de nuestra estrella.

La comprensión de la física del Sol es fundamental para entender el impacto de esta estrella en nuestra sociedad. Los fenómenos de actividad solar pueden causar problemas en las comunicaciones, los sistemas eléctricos y la navegación, por lo que es importante

desarrollar técnicas para predecir estos eventos y mitigar sus efectos. El estudio de la física del Sol también es importante para entender mejor su comportamiento y su impacto en el clima terrestre.

Antecedentes

En la historia de Colombia la investigación relacionada con el Sol se remonta a observaciones solares y de tránsitos en el siglo XX (Arias de Greiff, 1993). El Observatorio Astronómico de Santafé de Bogotá (actualmente Observatorio Astronómico Nacional de Colombia, OAN), fue fundado en 1803 por José Celestino Mutis, y en él se hicieron mediciones del movimiento aparente del Sol. Francisco José de Caldas, primer director del Observatorio, registró el paso del Sol por el meridiano del observador desde el salón principal de la edificación que lo albergaba, siguiendo su reflejo en el suelo tras entrar por una pequeña rendija situada en la terraza. Esta era una visión utilitarista de la astronomía para fines relacionados con la geografía (Portilla, 2020).

En la segunda mitad del siglo XX comenzaron a hacerse con mayor regularidad observaciones solares y de tránsitos y eclipses. Los detalles específicos de algunas de estas observaciones se publicaron en los Anales del Observatorio Astronómico Nacional de Bogotá, cuyo primer número apareció en 1882, y en la prensa escrita de la época, como se destaca en un reciente trabajo de investigación (Moreno-Cárdenas *et al.*, 2022) y en las referencias que allí se mencionan. Se destaca la observación hecha por el astrónomo José María González Benito de una gran región activa en el Sol en agosto de 1893, durante el ciclo solar número 13, y que fue publicada en *L'Astronomie*, de la Sociedad Astronómica de Francia, una de las publicaciones más importantes de astronomía de la época. Durante el siglo XX se realizaron observaciones solares y se siguieron registrando eclipses de Sol, pero gran parte de las investigaciones se centraron en la meteorología y la radiación solar, especialmente a partir de la fundación del Observatorio Nacional de San Bartolomé en 1922, el cual sirvió como centro del Servicio Meteorológico de la República. Un anteojo acimutal de Zeiss se destinó para la observación visual de las manchas del Sol y se dio especial énfasis a los estudios de radiación solar en el país (Sarasola, 1923). Esta institución fue predecesora del Instituto Geofísico de los Andes Colombianos, que tuvo un destacado reconocimiento internacional, especialmente hacia mediados del siglo XX a raíz de la celebración mundial del Año Geofísico Internacional (1957 – 1958).

Hacia finales del siglo XX y comienzos del nuevo milenio creció el interés de varias universidades y grupos de diversas partes del país por profundizar en los estudios relacionadas con el Sol (Higuera, 2017). En ese contexto, se dedicaron esfuerzos valiosos al desarrollo de esta línea de investigación y a la formación de nuevas generaciones de estudiantes en el campo de la física del Sol. Ejemplos de estos esfuerzos se encuentran en la Universidad de los Andes, en donde, bajo el liderazgo del profesor Benjamín Oostra, se han materializado varios espectrógrafos en el óptico para la determinación por el efecto Zeeman del campo magnético en manchas solares y una radioantena que por muchos años ha tomado radioespectrogramas en la banda de los cientos de MHz. Otro ejemplo de la observación en la longitud de ondas de radio de fenómenos causados por el Sol, lo ha liderado la Universidad Tecnológica de Pereira con su radiotelescopio compacto, usado en el monitoreo del clima espacial. Otros esfuerzos incluyen el desarrollo de simulaciones de magnetohidrodinámica (*magnetohydrodynamics*, MHD) en la Universidad Industrial de Santander, o el análisis del viento solar en nuestro vecindario planetario en la Universidad de Antioquia. Estos son algunos de los ejemplos de proyectos destacados en el campo del estudio del Sol en Colombia.

Reconociendo el valor que todos y cada uno de estos esfuerzos ha tenido para el desarrollo de la astrofísica en nuestro país, nuestra reseña se centra en los aportes del grupo de investigación en astrofísica solar del Observatorio Astronómico Nacional, que se destaca como el más consolidado en Colombia, como lo demuestra el notable reconocimiento internacional de varias de sus líneas de investigación en heliofísica.

Creación del Grupo de Astrofísica Solar (GoSA)

El Grupo de Astrofísica Solar (GoSA) es un grupo de investigación vinculado al OAN, en particular al Grupo de Astronomía, Astrofísica y Cosmología, clasificado en la máxima categoría por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MinCiencias). El GoSA se formalizó entre el 2011 y el 2012, por lo que ya cumplió su primera década dedicado al desarrollo continuo de proyectos de investigación. El interés por crear el grupo surgió hacia el 2010, con los primeros trabajos en el campo del estudio del Sol, interés que se había potenciado con la visita a Bogotá en el 2009 del investigador español Bruno Sánchez Andrade-Nuño, uno de los doce científicos invitados a la Cátedra Mutis “Astronomía para todos: retos modernos de una ciencia milenaria”, y cuyo tema de investigación era el estudio de las capas altas de la atmósfera solar.

En el 2012, la Universidad Nacional de Colombia organizó una escuela internacional de verano dedicada a la astrofísica solar y a las tendencias y técnicas modernas en este campo (*Solar Astrophysics: Modern Trends and Techniques*). En ella participaron como ponentes 16 investigadores (cuatro nacionales y 12 internacionales) que disertaron sobre los siguientes temas: el Sol como estrella de secuencia principal, la instrumentación solar, el Sol en calma, las manchas solares, la corona solar, el Sol activo y las fulguraciones. Cerca de 30 estudiantes participaron en la escuela y un buen número de ellos decidieron incursionar en la física solar y desarrollar proyectos de investigación en esta área. Fue en ese momento que se estructuró el GoSA a través de seminarios semanales y un plan de trabajo que incluía colaboraciones internacionales, publicaciones y proyectos de investigación asociados con trabajos de grado, principalmente de la carrera de Física de la Universidad Nacional de Colombia, y a tesis de Maestría en Ciencias - Astronomía.

Desentrañando la física del Sol a través de la investigación

El GoSA se dedica a la investigación en astrofísica solar, es decir, el estudio del Sol y su influencia en el sistema solar y en la Tierra. Entre los temas de su interés se destaca el estudio de la dinámica de la superficie solar, incluyendo las manchas, los poros solares y las pequeñas estructuras magnéticas, así como la estructura y la dinámica del campo magnético en la atmósfera solar y los fenómenos explosivos de actividad solar. Las líneas principales de trabajo del GoSA se enumeran y detallan brevemente a continuación.

- Observación solar en el óptico en alta resolución: movimientos propios y dinámica de la superficie solar, puntos magnéticos brillantes (*magnetic bright points*, MBP), manchas solares y fulguraciones solares en luz blanca. Técnicas de espectropolarimetría y heliosismología.
- Observación solar en radio: análisis de espectrogramas para profundizar en fenómenos de actividad solar.
- Observación solar en rayos-X: uso de los rayos X como una técnica diagnóstica para la caracterización del transporte de partículas energizadas en la corona solar.
- Modelación: simulaciones de dinámicas físicas en el Sol, incluido el interior solar (termodinámica), las ondas magneto-acústicas, la interacción del plasma y el campo magnético.
- Instrumentación: diseño y construcción de radiotelescopios, radiointerferómetros y sus sistemas de control, entre los que se destaca el primer radiointerferómetro solar colombiano (Guevara-Gómez, 2016).
- Clima espacial y condiciones de atmósferas planetarias: estudio de la influencia del Sol en las condiciones de atmósferas planetarias y las propiedades relacionadas con las condiciones para la habitabilidad del planeta.
- Inteligencia artificial en física solar: es la línea de trabajo más reciente del grupo y busca profundizar en el uso de métodos numéricos y macrodatos (*big data*) en el análisis de datos solares.

El GoSA utiliza diversas aproximaciones observacionales y teóricas para investigar la dinámica solar, los campos magnéticos y los mecanismos de transferencia de energía. Se emplean instrumentos y técnicas de última generación para observar las erupciones

Desde su conformación, el GoSA ha difundido un número relevante de productos académicos (**Figura 2**). Se destacan sus más de sesenta publicaciones científicas en artículos y memorias de congresos, incluyendo trabajos en las revistas internacionales más destacadas en investigación en Astronomía y astrofísica (*Astrophysical Journal*, *Astronomy and Astrophysics*, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, *Solar Physics*, *Advances in Space Research*, entre otras), lo que demuestra el notable nivel de investigación alcanzado por el grupo. Los resultados de estas investigaciones se han presentado en los principales eventos internacionales en este campo, con un promedio de cerca de 18 contribuciones anuales durante los últimos diez años (**Figura 2**).

El GoSA ha tenido un papel importante en el establecimiento de redes de investigación en la comunidad de astrofísica solar. En el 2016, el grupo organizó el primer Simposio de la Unión Astronómica Internacional en Colombia, que contó con la participación de 150 investigadores y estudiantes de 30 países. El evento académico, que se convocó bajo el nombre de *Fine Structure and Dynamics of the Solar Atmosphere* (**Vargas-Domínguez et al.**, 2017) ha sido uno de los referentes más importantes para dar a conocer el trabajo del GoSA en la comunidad de investigación mundial, y un punto de inflexión en el fortalecimiento de sus diversas líneas de investigación.

En el 2016 el GoSA tuvo una destacada participación en la XV Reunión Latinoamericana de la Unión Astronómica Internacional (LARIM) realizada por primera vez en Colombia, en Cartagena de Indias, y que constituye el evento más relevante en investigación en Astronomía y astrofísica en la región. La LARIM representó otro de los escenarios internacionales que más visibilizaron el trabajo del GoSA en la comunidad astronómica de la región.

Formación

Además de su labor de investigación, el GoSA también tiene una presencia relevante en la formación de estudiantes. Los miembros del grupo han participado en la enseñanza de cursos y seminarios en universidades en Colombia y en otros países. La creación de dos asignaturas de posgrado en la Universidad Nacional de Colombia: *Fundamentos de Astrofísica Solar* (2015) y *Solar Astrophysics: Techniques and Data Analysis* (2019), representa la formalización de los únicos cursos especializados en investigación en astrofísica solar en el país.

La formación de estudiantes se refleja igualmente en los trabajos de grado y las tesis de Maestría, las cuales han fortalecido diversas líneas de investigación del GoSA mediante proyectos que han culminado exitosamente. Los 29 trabajos de pregrado y 17 tesis de

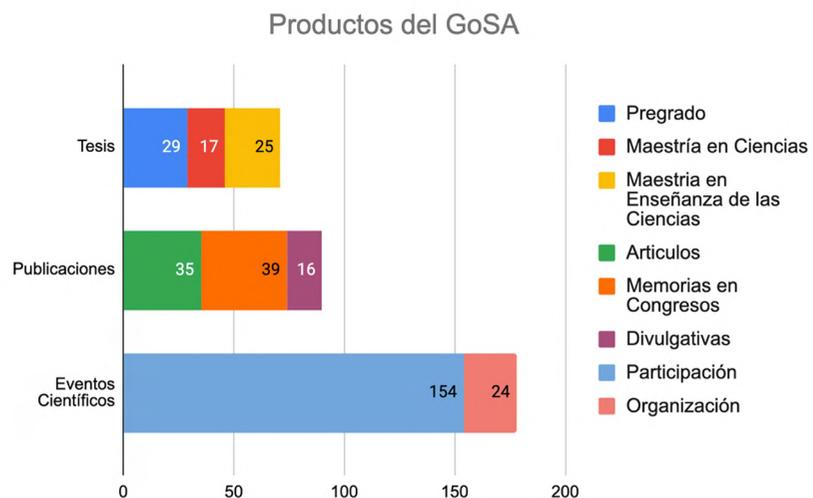


Figura 2. Productos del Grupo de Astrofísica Solar del Observatorio Astronómico Nacional de Colombia, Universidad Nacional de Colombia

Maestría en Ciencias – Astronomía liderados por el grupo (**Figura 2**), son muestra del importante trabajo realizado. Además, se han dirigido 25 tesis de Maestría en Enseñanza de las Ciencias como apoyo en la formación de maestros en temas de Astronomía y con implicaciones en la educación de la primera y la segunda infancia en Colombia.

En noviembre del 2012, y como parte la conmemoración del décimo aniversario del GoSA, se realizó de manera híbrida la Escuela de Magnetismo Solar y Estelar, que contó con la participación de tres expertos internacionales en las investigaciones relacionadas con el campo magnético del Sol y otras estrellas. Durante tres semanas, 27 estudiantes se capacitaron en las técnicas modernas y el análisis de datos en esta línea de investigación, una de las de mayor proyección en la actualidad.

Divulgación y apropiación social de la ciencia

Además de sus investigaciones científicas, el GoSA participa activamente en actividades de divulgación y extensión en Colombia y en la región. El grupo ha organizado y participado en numerosas conferencias y talleres en escuelas y universidades, así como en eventos públicos y festivales de ciencia, que suman cerca de 400 contribuciones. Además, el grupo tiene presencia en escenarios de divulgación, incluyendo los medios de comunicación, donde comparte sus propias investigaciones y otras relacionadas con la astronomía y las ciencias del espacio, divulgándolas entre un público amplio y diverso. A través de las temáticas involucradas en el estudio del Sol, se han apoyado procesos de formación en grupos escolares y semilleros de astronomía (**Cárdenas-Avenidaño et al.**, 2019). El GoSA participa activamente en la difusión del conocimiento científico en nuestro país y cuenta con artículos en revistas de divulgación, contenidos transmedia y libros para público infantil (**Figura 2**).

Desafíos y futuro de la investigación en astrofísica solar

La astrofísica solar es un campo de investigación en constante evolución, y se espera que en el futuro se produzcan importantes avances en nuestra comprensión del Sol y su influencia en el sistema solar y en la Tierra. Hay, sin embargo, varios desafíos que deben ser superados para alcanzar estos objetivos. Uno de los desafíos más importantes en la investigación en astrofísica solar es la complejidad de los fenómenos que se estudian. El Sol es un objeto altamente dinámico y complejo, y muchos de los procesos que tienen lugar en su interior y en su atmósfera son difíciles de comprender. Entre estos se encuentran los procesos que dan lugar al calentamiento extremo de la corona solar (de hasta millones de grados) y, por otra parte, la predicción de la actividad solar relacionada con fenómenos explosivos como las fulguraciones.

Por ello, es necesario un enfoque interdisciplinario que combine la física, la química y la computación para comprender estos procesos y hacer predicciones precisas sobre su comportamiento. Otro desafío de la investigación en astrofísica solar es la necesidad de desarrollar modelos y teorías que puedan explicar los fenómenos observados. Esto requiere una comprensión profunda de la física que gobierna el Sol y su atmósfera, así como la capacidad de simular y analizar estos modelos con herramientas computacionales avanzadas. La integración de modelos teóricos y observaciones es una de las principales fuentes de progreso en la investigación en este campo.

A pesar de los desafíos, el futuro de la investigación en astrofísica solar es muy prometedor. Se espera que el refinamiento y aplicación de nuevas técnicas de observación, como la espectropolarimetría de última generación, permitan obtener datos de mayor calidad y precisión. Además, se están desarrollando nuevos telescopios y misiones que permitirán estudiar el Sol con mayor detalle y en diferentes longitudes de onda, en lo que se ha denominado la física solar multimensajera.

Otro aspecto importante del futuro de la astrofísica en general es la colaboración internacional. La investigación en astrofísica solar es un campo altamente interdisciplinario, que requiere la colaboración de investigadores de diferentes países y disciplinas. En particular en el área de clima espacial confluyen múltiples aspectos del estudio del Sol,



Figura 3. Logo del GoSA

la Tierra y el medio interplanetario. Otro tema importante para el futuro de la astrofísica solar relacionado con el clima espacial es la aplicación de la investigación a problemas del mundo real. El estudio del Sol y su influencia en el sistema solar y en la Tierra es relevante para una amplia gama de disciplinas, desde la meteorología hasta la física de materiales y la biología. La aplicación de los resultados de la investigación en astrofísica solar a estos problemas puede tener importantes consecuencias para la sociedad.

En el contexto de los múltiples interrogantes y las perspectivas del área, el GoSA, que durante la última década se ha consolidado como un referente de la investigación en el panorama de la astrofísica nacional, y cuyo logo (**Figura 3**) ya es reconocido en la comunidad, tiene ante sí grandes desafíos en los próximos años. Por una parte, seguir realizando contribuciones significativas a nuestra comprensión del Sol y promoviendo colaboraciones internacionales para el fortalecimiento de la formación e investigación en este campo de la astrofísica. La futura misión espacial *The solar Polarization and Directivity X-Ray Experiment* (PADRE) (**Martínez-Oliveros et al.**, 2021), la cual cuenta con la participación de miembros del GoSA, y la propuesta *Dynamics of the solar corona in the era of data-intensive observations*, presentada en conjunto con instituciones europeas y americanas y recientemente ganadora de la *Horizon - Marie Skłodowska-Curie Actions - 2022* (SE-01-01) de la Comisión Europea, aseguran un futuro promisorio para el grupo. Por otra parte, el GoSA seguirá haciendo esfuerzos para inspirar a las futuras generaciones de científicos a explorar las maravillas del astro más importante para la humanidad, y aportar a la consolidación de la cultura científica en Colombia, vital para el desarrollo de nuestra sociedad.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que han apoyado al GoSA durante estos 10 años de arduo trabajo. Su contribución ha sido invaluable para nuestro éxito en la investigación en astrofísica solar, y nos ha permitido realizar proyectos de investigación de vanguardia, tanto teóricos como observacionales, y desarrollar equipos pioneros de instrumentación radioastronómica en Colombia. Nuestro agradecimiento se extiende a nuestros colaboradores y colegas, principalmente en el Observatorio Astronómico Nacional de la Universidad Nacional de Colombia, cuyo intercambio de conocimientos y experiencia ha sido fundamental para nuestro crecimiento. Especial mención merecen todos nuestros estudiantes, en particular Julián David Alvarado Gómez, por haber sido pionero en la puesta en marcha del GoSA. Varias generaciones de estudiantes han pasado por el GoSA y culminado exitosamente sus proyectos académicos y personales. Su entusiasmo y dedicación han sido una fuente constante de inspiración y son los protagonistas de los logros del GoSA. Por último, agradecemos a la comunidad científica y al público en general por su interés y apoyo, y a todos los que nos impulsan a seguir explorando los misterios del Sol y compartir nuestros hallazgos.

Contribución de los autores

BCM y SVD han desarrollado y elaborado los contenidos en torno al contexto de la astrofísica solar y el trabajo del grupo en las diversas funciones misionales, incluyendo los logros en la última década. JCBC y JCMO han contribuido con los antecedentes y creación del grupo, al igual que en las perspectivas de la investigación en astrofísica solar.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses.

✉ **Santiago Vargas-Domínguez**^{1,*}, ✉ **Benjamín Calvo-Mozo**¹, ✉ **Juan Carlos Martínez Oliveros**², ✉ **Juan Camilo Buitrago-Casas**²

¹ Observatorio Astronómico Nacional, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., Colombia

² Space Sciences Laboratory, Universidad de California, Berkeley, Estados Unidos

Referencias

- Arias de Greiff, J.** (1993). La astronomía en Colombia. *Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 1a Edición, pp. 95-105.
- Cárdenas-Avendaño, A., Vargas-Domínguez, S., Cuéllar, J., Moreno-Cárdenas, F., Calvo-Mozo, B.** (2019). The Educational Power of the Sun. *Communicating Astronomy with the Public Journal*, 25(1), 28-33.
- Erdélyi, R., Korsós, M. B., Huang, X., Yang, Y., Pizzey, D., Wrathmall, S. A., Hughes I. G., Dyer, M. J., Dhillon, V. S., Belucz, B., Brajša, R., Chatterjee, P., Cheng, X., Deng, Y., Vargas Domínguez, S., Joya, R., Gömöry, P., Gyenge, N.G., Hanslmeier, A., Kucera, A., ... y Zuccarello, F.** (2022). The Solar Activity Monitor Network - SAMNet. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 12(1), 2. <https://doi.org/10.1051/swsc/2021025>
- Guevara-Gómez, J. C., Martínez-Oliveros, J. C., Calvo-Mozo, B.** (2016). First colombian radiointerferometer: Current stage. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 12(327), 16-19.
- Higuera, M. A.** (2017). Astronomy in Colombia. *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, 49 (1), 3-6.
- Martínez-Oliveros, J., Christe, S., Saint-Hilaire, P., Krucker, S., Caspi, A., Peretz, E., Hayes, L., Limousin, O., Meuris, A.** (2021). The solar Polarization and Directivity X-Ray Experiment (PADRE). *Bulletin of the American Astronomical Society*, 53(6) e-id 2021n6i313p09
- Moreno-Cárdenas, F., Vargas-Domínguez, S., Cuéllar, J.** (2022). The pioneering scientific endeavor and contributions of José María Gonzalez Benito (1843-1903), the first Colombian modern astronomer. (181), 1010-1027. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1795>
- Portilla, J. G.** (2020). *Firmamento y atlas terrestre: La astronomía que practicó Francisco José de Caldas*. Ed. Universidad Nacional de Colombia
- Sarasola, S.** (1923). Noticias del Nuevo Observatorio. *Notas Geofísicas y Meteorológicas*, 1(2), 12-15.
- Vargas-Domínguez, S.** (2015). Observaciones solares de última generación. *Revista de Ciencias*, 6(3), 1-4.
- Vargas-Domínguez, S., Kosovichev, A. G., Antolin, P., Harra, L.** (2017). *Fine Structure and Dynamics of the Solar Photosphere*. Cambridge University Press.