

(a) Resultados más importantes obtenidos en la tesis

Esta tesis doctoral describe los pasos seguidos —concepto, diseño y desarrollo— para crear un instrumento en el estado-del-arte, FastCam, para obtener imágenes de muy alta resolución espacial y temporal, llegando incluso al límite de difracción, en bandas ópticas con telescopios terrestres, aplicando técnicas de *Lucky Imaging* (Imagen Afortunada). El efecto de la atmósfera limita la magnitud máxima de las estrellas observables en cada banda de longitud de onda y perturba el frente de onda ya que se estratifica en capas con diferentes dinámicas que producen *seeing*. Existen diferentes técnicas que intentan resolver estos problemas. Las técnicas modernas, como la óptica adaptativa (AO) o la óptica adaptativa multi-conjugada (MCAO), requieren de esfuerzos tecnológicos extremos y costos enormes, pero no han alcanzado todavía los grandes resultados esperados.

FastCam es el ejemplo perfecto de cómo un instrumento de bajo coste es capaz de obtener excelentes resultados en los telescopios de tamaño medio, con aberturas entre 1.5 y 4 metros. Aunque en la instrumentación moderna cada instrumento es único y está diseñado para un telescopio específico, FastCam ha funcionado perfectamente en cuatro telescopios con diferentes características: el Telescopio Carlos Sánchez (TCS, 1.5 m), en el Observatorio del Teide, y el Telescopio Óptico Nórdico (NOT, 2.5 m), William Herschel Telescope (WHT, 4.2 m) y el Gran Telescopio Canarias (GTC, 10.4 m), en el Observatorio del Roque de los Muchachos. Por lo tanto, la combinación de un aumento espectacular en la resolución del telescopio, un tratamiento en tiempo real de los datos y su versatilidad permite en gran medida el rendimiento de telescopios de tamaño medio, lo que lleva a superar a telescopios más grandes, con instrumentos y técnicas mucho más costosas. Los resultados de FastCam son impresionantes: se ha alcanzado el límite de difracción de TCS en banda I y en el NOT en bandas R e I (alcanzando la resolución de HST), así como la mejor resolución lograda por WHT y GTC. De hecho, ha obtenido las mejores imágenes jamás tomadas de los Observatorios de Canarias con la imagen en bandas I y R de la binaria interferométrica COU-292 de 67 mas en el WHT.

(b) Posible impacto de estos resultados en su campo de especialidad

Como se puede observar, el núcleo de FastCam es siempre el mismo, pero se aplicaron algunas adaptaciones especiales para ajustar el instrumento a cada telescopio. Se hicieron dos versiones para WHT, uno para la plataforma Nasmyth GHRIL y otro para el foco GRACE, en el que se adaptó para insertar un plano focal en el instrumento de AO (NAOMI). En cuanto al telescopio segmentado GTC de 10.4m, FastCam se instaló cuando sólo estaban montados los primeros 24 segmentos. FastCam fue capaz de procesar las 24 imágenes individuales, lo que equivale a 24 telescopios de 1.8 m, obteniendo la mejor resolución del telescopio hasta el momento. En este sentido, también se ha hecho un diseño para dividir la pupila total de 10.4 m en seis pupilas equivalentes a 4.5 m.

También hemos observado directamente varios sistemas binarios sólo inferidos previamente por otros métodos. Hemos observado con muestreo a alta velocidad el púlsar de la nebulosa del Cangrejo, con un período de 33ms. Asimismo, se han proporcionado los datos visuales para especificar los parámetros orbitales de, al menos, un sistema binario. Este instrumento ahora se utiliza en más de 40 líneas de investigación que proporcionarán varios trabajos de tesis doctorales.

El desarrollo de este proyecto también ha permitido el diseño y construcción de algunos instrumentos novedosos basados en la filosofía de FastCam: Wide-FastCam es un sistema de cámara de gran campo desarrollado para utilizar la captura de imágenes de alta velocidad para seguimiento de tránsitos en TCS. FastCam-Coro es un coronógrafo estelar que utiliza dos EMCCD, uno para el control de un espejo tip-tilt que mantiene la estrella sobre una máscara y envía una señal multiplexada con la selección de imágenes afortunadas para la captura del entorno coronográfico con la otra EMCCD. PlanetCam fue desarrollado en la Universidad UPV usando un sCMOS como detector para observación de objetos del sistema solar. En este momento la colaboración entre IAC, IoA (Instituto de Astronomía de la Universidad de Cambridge), UoC (Universidad de Colonia), UPCT (Universidad Politécnica de Cartagena) e ING (Isaac Newton Group) estamos desarrollando AOLI, un instrumento de Óptica Adaptativa con *Lucky Imaging* para instalar en un foco Nasmyth del WHT como prototipo para un instrumento similar o mayor para VLT y GTC. Esto permitirá concentrar más energía en una figura menos turbulenta y lograr imágenes de estrellas muy débiles.

(c) Futuras líneas de actuación

FastCam tiene aplicaciones a otras disciplinas diferentes a la astronomía como: oftalmología (compensación de la oscilación ocular, generar una señal de estabilidad, predicción de la siguiente posición, ...), fotografía (corrección de los movimientos de disparo, añadir imágenes con poca iluminación, balanceo de la intensidad de las fuentes, emborronamiento de zoom, etc), de control de vídeo (Comparación de la imagen real respecto a una referencia, el posicionamiento remoto o automático de un sistema de referencia, etc), la robótica o, simplemente, el seguimiento o supervisión en condiciones desfavorables.

Y finalmente me he planteado la adaptación de FastCam para ser utilizado con *Tip-Tilt* y los nuevos sCMOS, con un detector infrarrojo, así como los nuevos sistemas de detección con sensibilidad zonal o de píxeles mas pequeños y con nivel muy bajo de acumulación de señal. También estoy empujando para utilizar el instrumento FastCam como una nueva manera de caracterizar la atmósfera y para el desarrollo de sus capacidades fotométricas.

(d) Publicaciones derivadas de la tesis entre 2008 y 2012 con participación del doctorante.

- **Publicaciones en revistas internacionales con árbitro:**

[High-resolution optical imaging of the core of the globular cluster M15 with FastCam.](#); Díaz-Sánchez, Anastasio; Pérez-Garrido, Antonio; Villó, Isidro; Rebolo, Rafael; Pérez-Prieto, Jorge A.; Oscoz, Alejandro; Hildebrandt, Sergi R.; **López, Roberto**; Rodríguez, Luis F.; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 423, Issue 3, pp. 2260-2269. (MNRAS Homepage) WILEY; 07/2012.; DOI: [10.1111/j.1365-2966.2012.21034.x](#); ADS: [2012MNRAS.423.2260D](#).

[Lucky Imaging Adaptive Optics of the brown dwarf binary GJ569Bab.](#) Femenía, B.; Rebolo, R.; Pérez-Prieto, J. A.; Hildebrandt, S. R.; Labadie, L.; Pérez-Garrido, A.; Béjar, V. J. S.; Díaz-Sánchez, A.; Villó, I.; Oscoz, A.; **López, R.**; Rodríguez, L. F.; Piqueras, J.; Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 413, Issue 3, pp. 1524-1536. (MNRAS Homepage) WILEY; 05/2011.; DOI: [10.1111/j.1365-2966.2011.18226.x](#); ADS: [2011MNRAS.413.1524F](#).

[High-contrast optical imaging of companions: the case of the brown dwarf binary HD 130948 BC.](#); Labadie, L.; Rebolo, R.; Villó, I.; Pérez-Prieto, J. A.; Pérez-Garrido, A.; Hildebrandt, S. R.; Femenía, B.; Díaz-Sánchez, A.; Béjar, V. J. S.; Oscoz, A.; **López, R.**; Piqueras, J.; Rodríguez, L. F.; Astronomy and Astrophysics, Volume 526, id.A144, 8 pp. (A&A Homepage) EDP Sciences; 02/2011.; DOI: [10.1051/0004-6361/201014358](#); ADS: [2011A&A...526A.144L](#). arXiv:1009.5670.

- **Contribuciones a congresos publicadas:**

[AOI: Adaptive Optics Lucky Imager: diffraction limited imaging in the visible on large ground-based telescopes.](#); Mackay, Craig; Rebolo-López, Rafael; Femenia Castellá, Bruno; Crass, Jonathan; King, David L.; Labadie, Lucas; Aisher, Peter; Pérez Garrido, Antonio; Balcells, Marc; Díaz-Sánchez, Anastasio; Jimenez Fuensalida, Jesús; **Lopez, Roberto L.**; Oscoz, Alejandro; Pérez Prieto, Jorge A.; Rodríguez-Ramos, Luis F.; Villó, Isidro; Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy IV. Proceedings of the SPIE, Volume 8446, article id. 844621, 10 pp. (2012). (SPIE Homepage); 09/2012; ISBN: [9780819491473](#); DOI: [10.1117/12.925618](#); ADS: [2012SPIE.8446E..21M](#).arXiv:1207.4065.

[FastCam optomechanical system design and manufacture.](#); Murga, Gaizka; Sanquirce, Rubén; Campo, Ramón; Oscoz, Alex; **López, Roberto**; Rebolo, Rafael; Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy III. Edited by McLean, Ian S.; Ramsay, Suzanne K.; Takami, Hideki. Proceedings of the SPIE, Volume 7735, article id. 77353E, 6 pp. (2010). (SPIE Homepage)(c) 2010: American Institute of Physics AIP; 07/2010.; DOI: [10.1117/12.856736](#); ADS: [2010SPIE.7735E.115M](#).

[High spatial resolution and high contrast optical speckle imaging with FASTCAM at the ORM.](#); Labadie, Lucas; Rebolo, Rafael; Femenía, Bruno; Villó, Isidro; Díaz-Sánchez, Anastasio; Oscoz, Alejandro; **López, Roberto**; Pérez-Prieto, Jorge A.; Pérez-Garrido, Antonio; Hildebrandt, Sergi R.; Béjar-Sánchez, Victor; José Piqueras, Juan; Rodríguez, Luis F.; Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy III. Edited by McLean, Ian S.; Ramsay, Suzanne K.; Takami, Hideki. Proceedings of the SPIE, Volume 7735, article id. 77350X, 11 pp. (2010). (SPIE Homepage) (c) 2010: American Institute of Physics AIP; 07/2010.; DOI: [10.1117/12.857998](#); ADS: [2010SPIE.7735E..32L](#); arXiv:1009.4710.

[High contrast and high resolution optical imaging from the ground: results from FASTCAM at NOT and WHT.](#); Femenía, B.; Labadie, L.; Rebolo, A.; Oscoz, A.; Pérez-Prieto, J.; Villó, I.; Díaz, A.; Garrido, A.; **López, R.**; IAC Talks, Astronomy and Astrophysics Seminars from the Instituto de Astrofísica de Canarias, id.166 ADS; 06/2010.; ADS: [2010iac.talk..166F](#).

[An atmospheric corrector to work with FastCam at William Herschel Telescope.](#); **López, Roberto**; Calcines, Ariadna; Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II. Edited by McLean, Ian S.; Casali, Mark M. Proceedings of the SPIE, Volume 7014, article id. 701452, 11 pp. (2008). (SPIE Homepage); 08/2008.; DOI: [10.1117/12.789302](#); ADS: [2008SPIE.7014E.167L](#).

[FastCam: a new lucky imaging instrument for medium-sized telescopes.](#); Oscoz, Alejandro; Rebolo, Rafael; **López, Roberto**; Pérez-Garrido, Antonio; Pérez, Jorge Andrés; Hildebrandt, Sergi; Rodríguez, Luis Fernando; Piqueras, Juan José; Villó, Isidro; González, José Miguel; Barrera, Rafael; Gómez, Gabriel; García-Hernández, D. Anibal; Montañés, Pilar; Rosenberg, Alfred; Cadavid, Emilio; Calcines, Ariadna; Díaz-Sánchez, Anastasio; Kohley, Ralf; Martín, Yolanda; Peñate, José; Sánchez, Vicente; Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II. Edited by McLean, Ian S.; Casali, Mark M. Proceedings of the SPIE, Volume 7014, article id. 701447, 12 pp. (2008). (SPIE Homepage); 08/2008.; DOI: [10.1117/12.788834](#); ADS: [2008SPIE.7014E.137O](#).