

TARSIS, ESPECTROSCOPIA BIDIMENSIONAL

A finales de 2026 estará disponible en el telescopio de 3,5m del observatorio de Calar Alto el instrumento TARSIS, una unidad de campo integral (IFU) de campo y cobertura espectral sin precedentes (8 arcmin^2 entre 320 y 810 nm). TARSIS, que fue seleccionado por el observatorio como el instrumento de nueva generación para el 3,5m en mayo de 2022, está siendo diseñado para llevar a cabo CATARSIS, una exploración que mapeará durante 6 años un total de 16 cúmulos de galaxias entre $0.15 < z < 0.23$ hasta su radio virial de forma no sesgada.



Armando Gil de Paz

Universidad Complutense de Madrid
agil@fis.ucm.es

Jorge Iglesias Páramo

Instituto de Astrofísica de Andalucía (CSIC)
jiglesia@iaa.es

Patricia Sánchez-Blázquez

Universidad Complutense de Madrid
psanchezblazquez@ucm.es

TARSIS, EL INSTRUMENTO

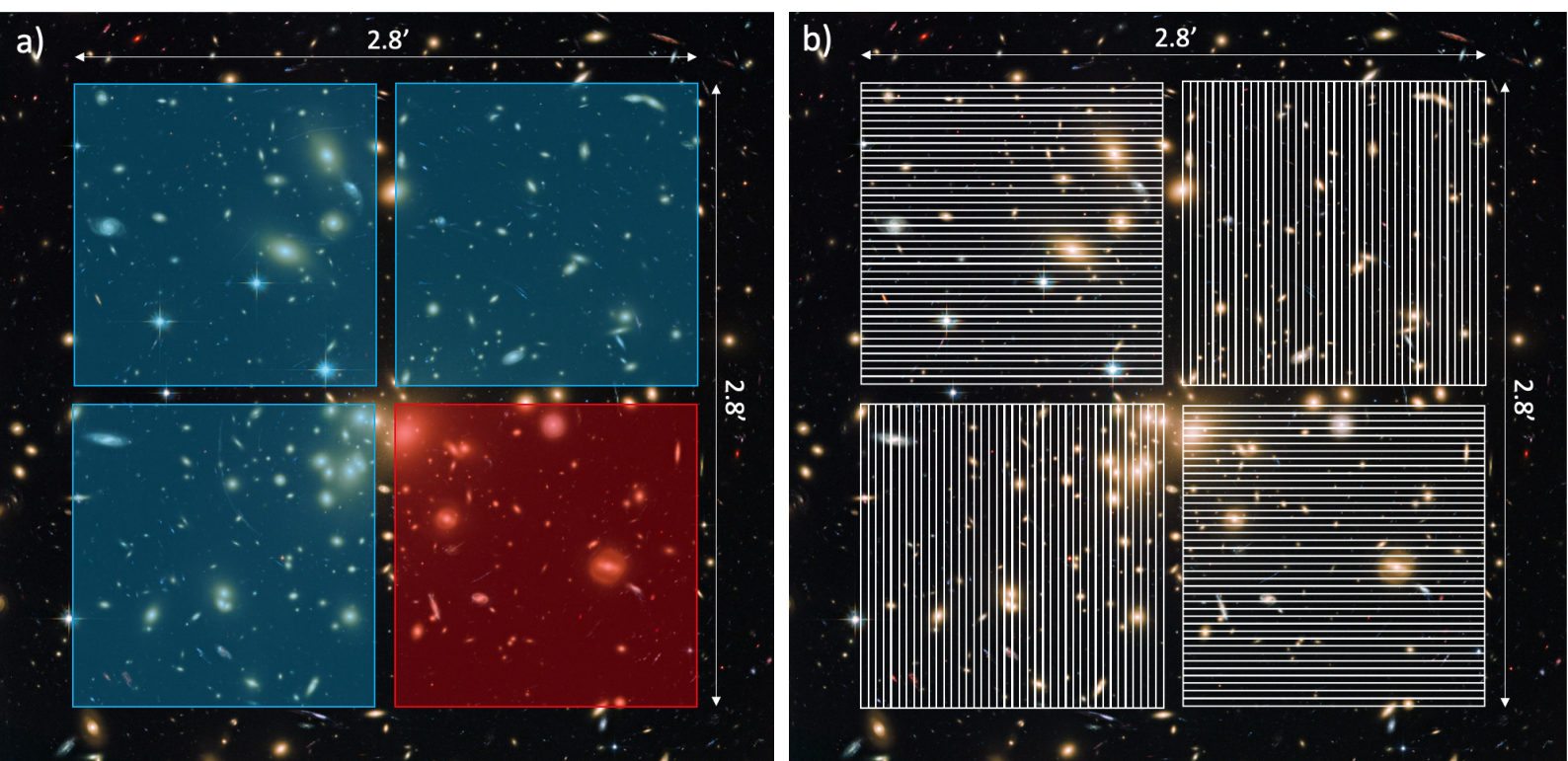
Además de hacer referencia a distintos lugares del sur de la península ibérica (ya sean las colonias fenicias diseminadas por la costa de la actual Andalucía o la mítica ciudad capital del reino de Tartessos) o los barcos usados por los primeros para explorar las regiones más occidentales del Mediterráneo, TARSIS es el acrónimo del instrumento de nueva generación para el telescopio de 3,5m del observatorio de Calar Alto: *Tetra-ARmed Super-Ifu Spectrograph*.

TARSIS es una unidad de campo integral (o IFU, del inglés Integral Field Unit) basada en la técnica de rebanado de imagen que proporcionará espectroscopía de resolución intermedia-baja (su poder de resolución promedio será de $R \sim 1000$) en un campo de visión sin precedentes de unos 8 minutos de arco cuadrados. Este campo es unas 12 veces más grande que el de la IFU de mayor campo disponible en el observatorio (PPaK; Verheijen et al. 2004) y unas 8 veces más grande que el proporcionado por la mayor IFU disponible a la comunidad española: MUSE en el VLT (Bacon et al. 2010). El campo total de TARSIS se divide en cuatro cuadrantes adyacentes, cada uno de ellos con cobertura espacial completa (*filling factor* = 100%), y una resolución espacial de $2''$ (ancho de la rebanada) $\times 2''$ (calidad de imagen a lo largo de cada rebanada). Tres de los cuadrantes redirigen la luz a sendos espectrógrafos optimizados para cubrir el rango azul del espectro óptico, entre 320 y 520 nm, mientras que el cuarto cuadrante permite cubrir el rango rojo, entre 510 y 810 nm (ver imagen). Estos espectrógrafos proporcionarán resoluciones espectrales entre 700 y 1200 en poder de resolución ($R = \lambda / \Delta\lambda$), dependiendo de la longitud de onda.

Los principales parámetros del instrumento se resumen en la tabla que se muestra en la página siguiente.

La gran cobertura espacial junto con la más que adecuada resolución espacial y espectral de TARSIS se derivan de los requerimientos científicos del proyecto CATARSIS (acrónimo de *Calar Alto Tetra-ARmed Super-Ifu Survey*). Así, la convocatoria abierta en la que fueron recientemente elegidos CATARSIS y TARSIS era realmente una llamada para nuevos proyectos científicos para ser realizados con instrumentación ya existente o de nueva construcción, en el caso de que ésta no estuviese aún

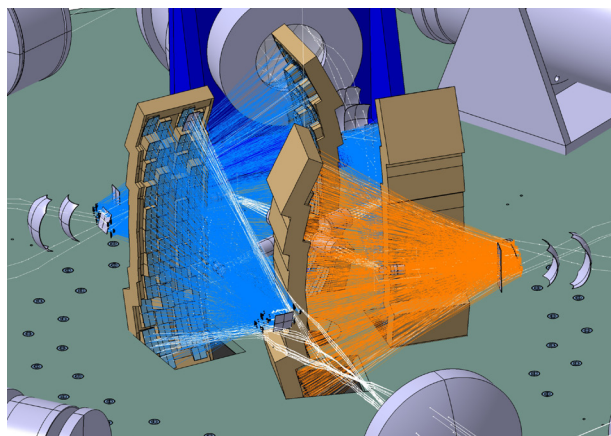
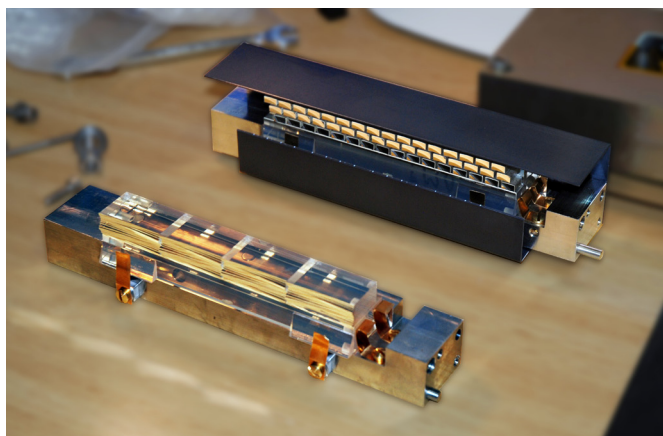
DE GRAN CAMPO PARA CALAR ALTO



a) Disposición de los cuatro cuadrantes/espectrógrafos de TARSIS (3 azules y 1 rojo) sobre una imagen de falso color del Hubble Space Telescope con el instrumento ACS/WFC del cúmulo Abell 1689. Crédito: NASA, ESA, Hubble Heritage Team (STScI/AURA), J. Blakeslee (NRC Herzberg Astrophysics Program, Dominion Astrophysical Observatory) y H. Ford (JHU). b) 160 rebanadas (slitlets) en las que se descompondrá el campo cubierto en un apuntado por TARSIS sobre la misma imagen de Abell 1689. Nótese que esta imagen representa una pequeña parte de la región del cúmulo dentro de su radio virial.

Principales parámetros del instrumento TARSIS.

	Azul	Rojo
Campo de visión	3 x (1,36 x 1,36) arcmin ²	1,36 x 1,36 arcmin ²
Rango espectral	320 nm – 520 nm	510 nm – 810 nm
Elemento de resolución espacial	2,05 x 2,05 arcsec ²	2,05 x 2,05 arcsec ²
Poder de resolución espectral (R)	730 – 1260	780 – 1220
Detector	CCD231 con Silicio estándar (con recubrimiento NBB)	CCD231 Si <i>Deep depleted</i> (con recubrimiento MK15)
Eficiencia total (incluye rebanador + espectrógrafo + detector)	mín.:9%; máx.: 32%	mín.: 24%; máx.: 38%



a) Rebanador de imagen del instrumento MUSE del VLT. El rebanador propiamente dicho, compuesto de 48 espejos esféricos fuera de eje de 0,9mm de grosor cada uno, se muestra al frente mientras que al fondo está el espejo de reenfoque, también compuesto de 48 espejos esféricos fuera de eje (créditos: ESO/CRAL). b) Diseño de los cuatro rebanadores de imagen de TARSIS (tres en el rango azul y uno en el rango rojo).

disponible en el observatorio de Calar Alto. En otras palabras, TARSIS surge como una necesidad derivada de CATARSIS y no al revés.

En las siguientes secciones describimos brevemente las características de los diferentes subsistemas de TARSIS, así como los principales objetivos de su caso científico: CATARSIS. Al final de este especial describimos también el calendario del proyecto, tanto en lo referente al desarrollo y construcción del instrumento, como a la obtención, análisis y diseminación de los datos y resultados que se derivarán de la ejecución de la exploración CATARSIS.

TARSIS, SUBSISTEMA POR SUBSISTEMA

El uso de rebanadores de imagen requiere reconvertir el haz del telescopio (con relación focal $f/10$ en su foco Cassegrain) a un haz más lento, adecuado a la envolvente del foco y con un viñeteo mínimo entre las diferentes caras del rebanador. En la imagen se muestra el sistema de fileteado y enfoque del instrumento MUSE del VLT. En el caso de TARSIS esto implica convertir el foco $f/10$ en un sistema $f/20$ que se rebana a la vez que se focaliza de nuevo a $f/9$. Finalmente, un sistema doble de lentes genera el plano focal de entrada de cada uno de los espectrógrafos, con número $f/3$, plano y telecéntrico. El diseño, salvo por los recubrimientos anti-reflectantes,

es idéntico para los cuatro brazos. Nótese que cada rebanador reordena un total de 40 rebanadas en forma de dos pseudo-rendijas paralelas situadas a la entrada del colimador. El diseño del rebanador ha sido realizado por la empresa FRAC-TAL S.L.N.E., y su fabricación correrá a cargo de la empresa Bertin-Winlight, responsable también de la fabricación de los rebanadores de imagen para MUSE en el VLT, KCWI en Keck II, entre otros.

Los espectrógrafos de TARSIS (3 en el azul y 1 en el rojo) están optimizados en su diseño óptico para su correspondiente rango de operación: 320-520 nm para los 3 espectrógrafos azules y 510-810 nm para el espectrógrafo rojo. Ambos son sistemas colimador-cámara que usan redes de dispersión holográficas (VPH, del inglés *Volume Phase Holographic*) de alta eficiencia. Los colimadores son $f/3$ mientras que las cámaras trabajan a $f/1.5$, similares en ese sentido a los componentes del espectrógrafo del instrumento MEGARA para GTC. En el caso de cada uno de los espectrógrafos azules, los colimadores tienen 6 lentes, y las cámaras poseen 9, incluyendo un triplete y un doblete. Debido a la necesidad de llegar hasta 320 nm todos los elementos ópticos, salvo un elemento de la cámara, están compuestos de Sílice Fundido o Fluoruro de Calcio. En el caso del espectrógrafo rojo, el colimador tiene 4 lentes (incluido

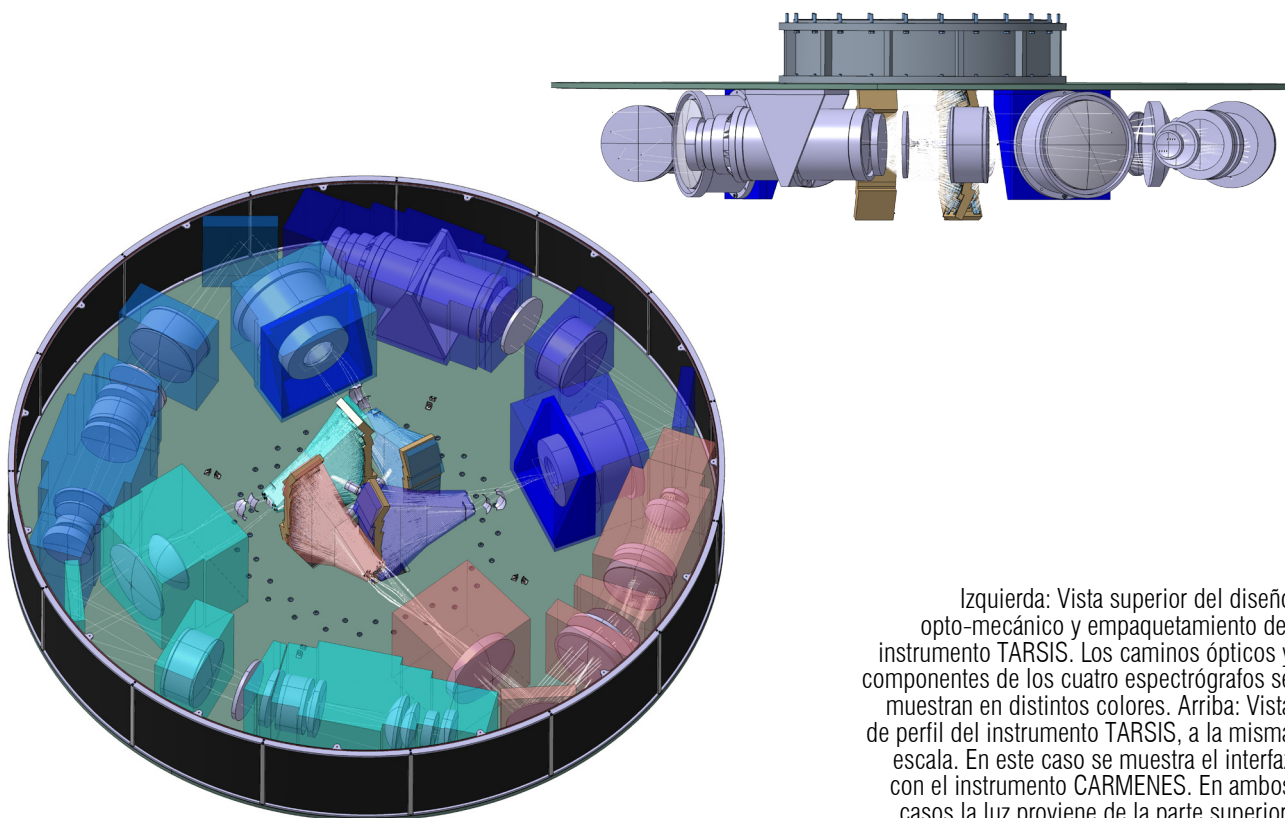
un doblete) y la cámara 7 (incluidos 2 dobletes), de distintos materiales: S-LAH53, S-BSM81, CaF2, S-BAL12, etc. Los espectrógrafos han sido diseñados por la empresa española FRACTAL S.L.N.E. y serán fabricados por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE, México).

Debido a que se usan dobles rendijas, cada VPH lleva un filtro incorporado que evita el solape espectral sobre el detector. El diseño y desarrollo de la VPH de doble holograma para los espectrógrafos de TARSIS está siendo llevado a cabo por la empresa Wasatch Photonics.

En el plano focal de la cámara de cada uno de los 4 espectrógrafos se sitúan sendos detectores CCD231 fabricados por la empresa Teledyne de 4k x 4k píxeles de 15 micras de tamaño lateral. Los CCDs para los espectrógrafos azules son de tipo delgado iluminados por detrás con un recubrimiento denominado NBB (*New Broad Band*) que alcanza

una transmisión del 70% a 320 nm sin bajar del 80% más allá de 350 nm y hasta el límite rojo de los espectrógrafos a 520 nm. Por su parte, el brazo rojo incorpora un CCD231-84 tipo *Deep Depleted* con recubrimiento tipo ML15 que posee eficiencias por encima de 80% en prácticamente todo el rango, de 510 a 810 nm. Este detector es similar al usado actualmente en los instrumentos CARMENES, MEGARA o MUSE. La lectura de cada CCD se realizará por dos amplificadores diagonalmente opuestos mediante el uso de dos controladores Archon. El enfriado de cada CCD se conseguirá por medio de un sistema *Stirling* con control anti-vibratorio activo (AVC) de la empresa Cryotel.

La disposición del instrumento completo en el foco del telescopio se muestra en la figura. Aunque no incluido en esta figura, el instrumento cuenta con un módulo de Adquisición y Guiado y una Unidad de Calibración, que son ambas responsabilidad del IAA-CSIC.



Izquierda: Vista superior del diseño opto-mecánico y empaquetamiento del instrumento TARSIS. Los caminos ópticos y componentes de los cuatro espectrógrafos se muestran en distintos colores. Arriba: Vista de perfil del instrumento TARSIS, a la misma escala. En este caso se muestra el interfaz con el instrumento CARMENES. En ambos casos la luz proviene de la parte superior.

El tratamiento de los datos, desde que son producidos por el sistema de control del instrumento (responsabilidad del IAA-CSIC) hasta que son válidos por uso científico, requerirán de un delicado y complejo procesamiento (a nivel de las correcciones básicas de los efectos instrumentales introducidos) y de diferentes niveles de post-procesado, incluyendo la generación de cubos de datos, mosaicos, datos tipo *combo* de amplia cobertura espectral, catálogos de detecciones, espectros de fuentes individuales, mapas, etc. Esta ingente tarea, que se llevará a cabo dentro del contexto de la exploración CATARSIS (ver a continuación), constituye un paquete de trabajo (WP, del inglés *Work Package*) en sí mismo. Este WP incluye el desarrollo de:

- (1) El simulador del instrumento, que dará soporte al desarrollo de la cadena de procesamiento (ver más abajo) y a la planificación de CATARSIS y del que se derivará el Calculador de Tiempo de Exposición (ETC). Este sub-WP está liderado por el Centro de Astrobiología (CAB, CSIC-INTA).
- (2) La cadena de procesamiento de datos (DRP o *Data Reduction Pipeline*), a cargo de corregir los datos crudos de los efectos instrumentales a nivel de observaciones individuales. Este sub-WP está liderado por la Universidad Complutense de Madrid (UCM) a través del Grupo UCM-GUAIX de Astrofísica Instrumental y eXtragaláctica.
- (3) Post-procesado, que a partir de la combinación de la información de los apuntados individuales generada por la DRP, los parámetros de ejecución de CATARSIS y la metrología de cada observación, deberá generar productos *science-ready* para su exploración posterior. Los distintos productos (cubos, catálogos, espectros extraídos) deberán minimizar la interpolación en el espacio de posiciones y longitud de onda. Este sub-WP está liderado por la UCM.
- (4) Control de calidad, tanto del resultado de la DRP como del post-procesado previamente descrito. Este sub-WP está liderado por el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA-CSIC).
- (5) Como parte de un proceso iterativo, el software desarrollado como parte de (1), (2) y (3) será optimizado utilizando herramientas de *High-Performance Computing* (HPC). Este sub-WP está liderado por el Grupo de Supercomputación-Algoritmos de la Universidad de Almería.

- (6) Protocolos y servicios de almacenamiento y distribución al abrigo del Observatorio Virtual Español (SVO). Este sub-WP está liderado por el Centro de Astrobiología (CAB, CSIC-INTA).
- (7) Herramientas de software científico para la derivación de propiedades físicas de los objetos identificados (a partir de los datos extraídos al final del post-procesado y cuya calidad ha sido verificada) como parte de las observaciones de TARSIS y siempre dentro del contexto de la exploración CATARSIS. Este sub-WP está liderado por la Universidad de Granada (UGR).

Finalmente, el éxito del procesamiento y explotación de los datos del instrumento recae fuertemente en la disponibilidad de un gran número de calibraciones y una detallada caracterización del sitio en longitudes de onda en cierto modo inéditas para la instrumentación pasada del observatorio. Por tanto, desde el equipo del instrumento se está llevando a cabo un estudio dedicado del sitio en el rango más azul del espectro óptico, hasta 320 nm. Esta iniciativa, que constituye un WP de TARSIS en sí mismo, está liderada por la Universidad de Sevilla.

CATARSIS, LA CIENCIA

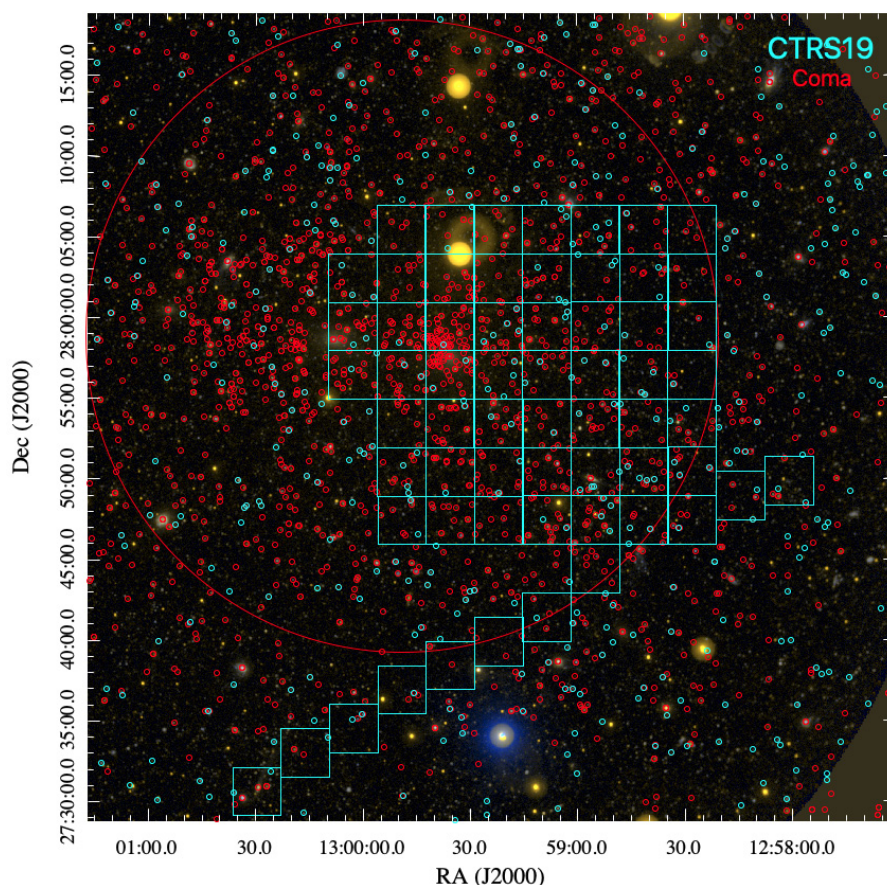
TARSIS ha sido diseñado para poder llevar a cabo CATARSIS, un cartografiado de 16 cúmulos de galaxias a desplazamientos al rojo entre $0,15 \leq z \leq 0,23$. Con 42,1 apuntados por cúmulo en media (ver ejemplo en la figura), se obtendrán espectros para todos los objetos de brillo superficial $\mu_r \lesssim 23,6$ mag/arcsec² a una distancia de varias veces el radio virial del cúmulo y, en algunos casos, se mapearán los filamentos que los alimentan. Los cúmulos seleccionados tienen abundantes datos de archivo en sus partes centrales y todos ellos serán observados a 1,1 mm, 1,4 mm y 2 mm con la cámara ToITeC del Gran Telescopio Milimétrico (GTM), que obtendrá mapas de densidad del medio intra-cumular a través del efecto Sunyaev Zeldovich con resoluciones de 6".

Los objetivos de CATARSIS incluyen aspectos que van desde entender la naturaleza de la materia y la energía oscuras, determinar algunos de los parámetros cosmológicos o estudiar los errores sistemáticos en la medida de masas de los cúmulos que, hoy en día, representan la mayor fuente de incertidumbre en cosmología observacional. Así mismo,

las observaciones de CATARSIS servirán para conectar las propiedades de las galaxias con el entorno que las rodea teniendo en cuenta la historia reciente de ambos y, por lo tanto, su interacción. Las observaciones con TARSIS ofrecen dos grandes ventajas respecto a otros cartografiados de cúmulos de galaxias: (1) no es necesario seleccionar qué galaxias se van a observar, por lo que la muestra no estará sesgada en color o posición dentro del cúmulo. (2) El cubrimiento de la parte azul del espectro permitirá detectar la presencia de formación estelar residual hasta límites muy bajos, así como estudiar la evolución de la metalicidad o la función inicial de masas en estas galaxias.

CRECIMIENTO DE ESTRUCTURAS Y PARÁMETROS COSMOLÓGICOS

Las velocidades radiales en una muestra amplia y no sesgada de galaxias, cubriendo casi la totalidad del área proyectada del cúmulo, permitirán minimizar los errores sistemáticos en determinación de la distribución de masas en cúmulos con los métodos de la cáustica (Logan et al. 2022) y las lentes gravitacionales débiles gracias a la caracterización de la subestructura, la forma del cúmulo y a la disponibilidad de desplazamientos al rojo. La distribución de la masa en los cúmulos relajados es sensible al grado de interacción de la materia oscura (partes internas), y al ritmo de expansión del universo (partes externas), así como al



Mapeado previsto en el caso del cúmulo #19 de CATARSIS. Este cúmulo se encuentra situado a $z=0,158$ en las coordenadas aproximadas del cúmulo de Coma, que se encuentra a $z=0,023$. Dicho mapeado, que alcanza hasta radio virial en el caso de CTR19 cubre simultáneamente gran parte del cúmulo de Coma hasta su $R500$ (circunferencia roja). Las galaxias conocidas de CTR19 se marcan en color cian mientras que las galaxias pertenecientes a Coma están marcadas en rojo. El mosaico previsto con TARSIS se muestra en color cian, alcanzando el radio virial ($\sim R200$) del cúmulo CTR19, mientras que la circunferencia roja indica el radio $R500$ del cúmulo de Coma, mucho más cercano.

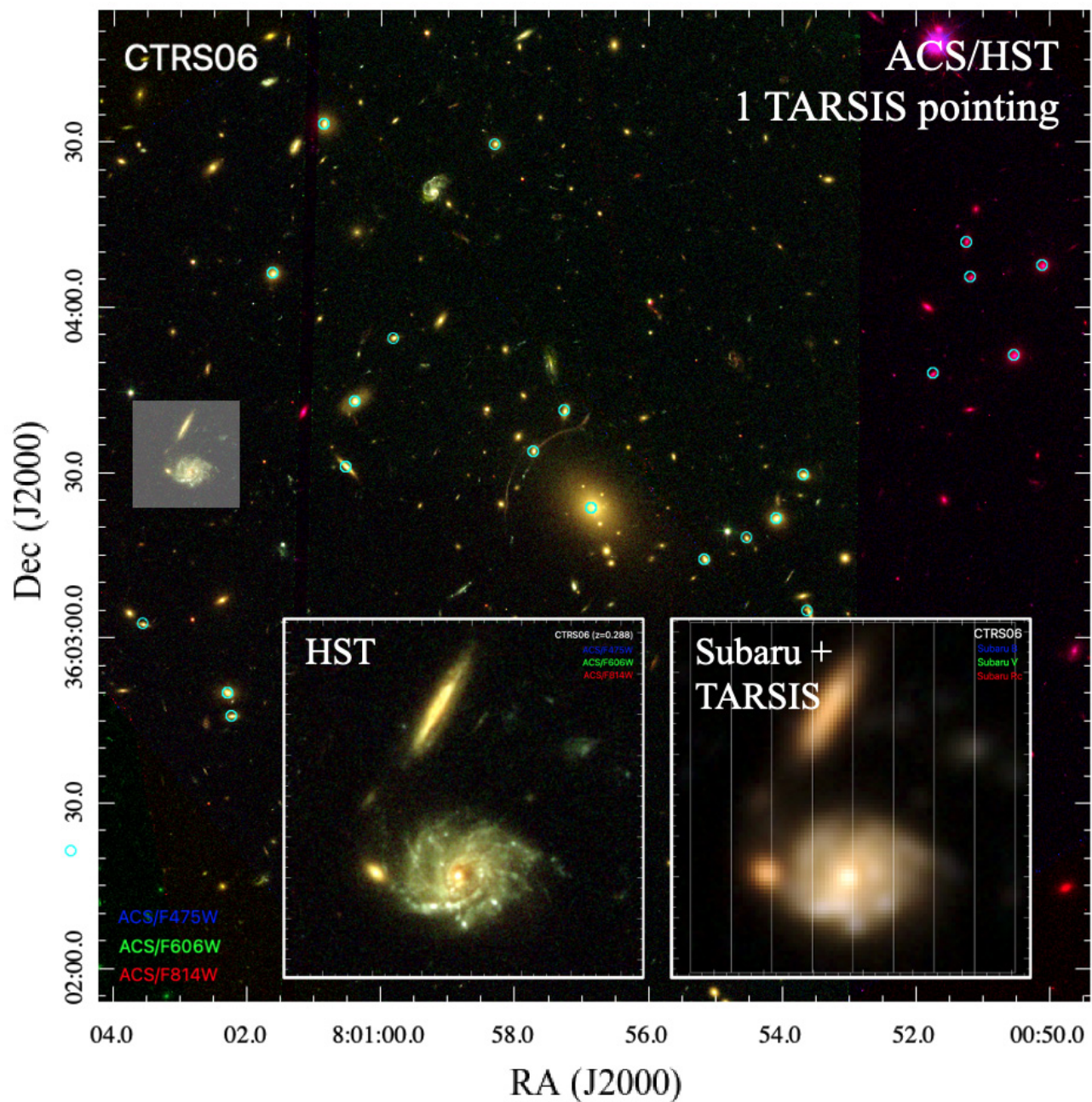


Imagen del telescopio espacial Hubble de la región central del cúmulo #6 de la muestra de CATARSIS, correspondiente a un único apuntado de TARSIS. Se identifican también los miembros previamente conocidos. Algunas de las características que se identifican en esta imagen se corresponden con galaxias de fondo amplificadas y distorsionadas por el efecto de lente gravitacional. En los detalles incluidos en la parte inferior se muestran dos de los objetos vistos por HST, por observaciones desde Tierra y con la resolución efectiva que proporcionarán los datos de CATARSIS.

espectro de fluctuaciones de densidad primordiales. La fracción de masa en subestructuras o el radio al cual la materia acretada alcanza el apocentro también permitirá estudiar el ritmo de crecimiento de estas estructuras.

PROCESOS FÍSICOS Y EVOLUCIÓN DE GALAXIAS EN UN ENTORNO DINÁMICO

CATARSIS también supondrá una mejora sustancial en los estudios de evolución de galaxias en distintos entornos. Hace más de tres décadas, Butcher y Oemler (1984) encontraron que la fracción de galaxias azules en cúmulos de galaxias era un 20% mayor a $z \sim 0,4$. Esta rápida evolución de los últimos 5.000 millones de años se interpretó como una evidencia de que las galaxias con formación estelar ingresan continuamente al entorno del cúmulo, donde diferentes procesos son capaces de convertirlas en sistemas que evolucionan pasivamente. Sin embargo, seguimos sin tener una idea clara acerca de los procesos que transforman las galaxias en los cúmulos o de cómo dependen estos del modelo cosmológico considerado.

El problema es debido, en parte, a la definición de entorno, que no incorpora aspectos esenciales para entender la complejidad de procesos que pueden afectar la evolución de una galaxia a su entrada a un cúmulo. Para poder entender estos procesos, es necesario conocer las órbitas de las galaxias dentro del cúmulo, la época de acreción, el estado dinámico del cúmulo, o las condiciones físicas del medio intra-cumular, que podremos determinar con CATARSIS.

Por otro lado, los distintos mecanismos que pueden transformar una galaxia dentro de un cúmulo actúan en escalas de tiempo que van desde 100 millones de años a 1 Giga-año. Sin embargo, los diagnósticos de tasa de formación estelar dependen de la fotoionización de estrellas masivas y, por lo tanto, reflejan actividad solo durante los últimos $\sim 5\text{--}10$ millones de años, después de lo cual la fotoionización disminuye rápidamente. Los estudios de poblaciones estelares en el rango óptico tampoco son capaces de distinguir si la formación estelar se truncó hace mil o cien millones de años si la masa de estrellas jóvenes representa un pequeño porcentaje de la masa total. Sin embargo, a longitudes de onda por debajo de ~ 300 nm, es posible detectar formación estelar residual que apenas represente un 1% en masa (Salvador-Rusiñol 2019). El rango espectral en reposo de

las galaxias en los cúmulos de CATARSIS a $z=0,15$ (278–704 nm) y $z=0,23$ (260–658 nm) permitirá, por lo tanto, caracterizar las escalas de tiempo en las que las galaxias se apagan en función de la época de entrada en el cúmulo, su pertenencia a subestructuras y las propiedades termodinámicas del gas.

Por último, el cartografiado de CATARSIS cubrirá un área de 1,7 grados cuadrados, por lo que no solo obtendrá espectros de galaxias en los cúmulos seleccionados, sino de muchos más objetos de fondo, a desplazamientos al rojo más altos. Gracias a su cubrimiento en el azul, CATARSIS obtendrá espectros de emisores de $\text{Ly}\alpha$, $[\text{OII}]$ y $\text{H}\delta$ en un rango de desplazamientos al rojo ($1,6 < z < 2$) no accesibles con los espectrógrafos de campo integral actuales, pero que son de gran importancia porque se corresponden con la época en la que la densidad de formación estelar del universo alcanzó un máximo y empezó a declinar. Esto permitirá obtener funciones de luminosidad de emisores de $\text{Ly}\alpha$ a distancias y en rangos de luminosidad poco explorados y obtener, además, sus abundancias químicas y masa dinámicas. Muchos de los cúmulos actúan de lentes gravitacionales, por lo que podremos hacer estudios resueltos de muchas de estas galaxias (ver imagen). El número de cúmulos en los campos explorados permitirá la detección y caracterización del medio interestelar en absorción y será sensible a la emisión del medio circungaláctico a $z \sim 1,7\text{--}2$, permitiendo estudios de los procesos de acreción de gas y de su abundancia química.

Aunque estos proyectos normalmente se llevan a cabo en telescopios de gran apertura, el gran campo de visión, el oscurecimiento cósmico mucho más pequeño y la eficiencia de TARSIS hacen que este proyecto sea altamente competitivo. Se estima un total de 12.000–15.000 espectros de objetos a alto desplazamiento al rojo al finalizar el cartografiado y la detección de galaxias con fuertes líneas de emisión podría llegar a triplicar este número.

PLANIFICACIÓN Y CALENDARIO DE TARSIS Y CATARSIS

Tras su integración en el Laboratorio de Instrumentación Científica Avanzada (LICA) de la UCM e instalación y puesta a punto en el telescopio, TARSIS dedicará la mayor parte de sus primeros años de funcionamiento a la observación de la muestra de cúmulos de galaxias objetivo de CATARSIS. Esta

muestra (que llamamos *Golden Sample*) consta de 16 cúmulos de galaxias y es parte de una muestra más amplia (que llamamos *Mother Sample*) de 33 cúmulos extraídos de diferentes compilaciones ya existentes: *RedMapper*, *SPIDERS*, *LOCUSS*, *Hetspec* y *CLASH*. Nuestras dos muestras cubren un amplio rango de propiedades de cúmulos tales como la masa, la riqueza y el estado evolutivo. Además, la mayor parte de los cúmulos de CATARSIS tienen datos complementarios disponibles obtenidos con otras instalaciones telescópicas, lo que proporcionará un análisis más rico de las propiedades de sus galaxias al combinarse con los datos de CATARSIS. Los cúmulos de CATARSIS se encuentran a desplazamientos al rojo en el intervalo $0,15 \leq z \leq 0,23$, lo que permitirá observar todas las líneas espectrales de interés, desde el doblete de MgII (situado en 320 nm en reposo) hasta H α (656 nm).

Los requerimientos científicos de CATARSIS imponen observar galaxias hasta magnitudes en continuo de $m_{AB,r} = 22$ mag y flujos de línea en emisión de $(1-2) \times 10^{-18}$ erg s $^{-1}$ cm $^{-2}$. De esta forma se podrán observar no solo las grandes galaxias elípticas de los cúmulos, sino también espirales tardías, e incluso algunas galaxias enanas. Para conseguir observar nuestras galaxias con una relación señal a ruido que permita alcanzar los objetivos científicos de CATARSIS, hemos estimado un tiempo de exposición en cada posición del cielo de 8 horas en el rango azul, y de 2 horas 40 minutos en el rango rojo. Las observaciones de CATARSIS se llevarán a cabo durante noches o fracciones de noche oscuras y siempre a masas de aire inferiores a 1,22, que corresponde con elevaciones del telescopio superiores a ~ 55 grados. Este último detalle es crucial, dado que observar a estas elevaciones permite minimizar la extinción atmosférica, crítico para el rango espectral tan azul de TARSIS. Las coordenadas de los cúmulos de CATARSIS nos aseguran poder conseguir este objetivo, dado que cada uno de ellos es observable al menos 4,5 horas por noche a dichas masas de aire menores durante más de 3 meses al año.

Un detalle muy importante para las observaciones de CATARSIS es conocer la extinción del cielo de Calar Alto a longitudes de onda cercanas al ultravioleta. Para ello hemos comenzado una campaña de observación con el telescopio de 1,23m de Calar Alto, utilizando la cámara DLR (de 4096×4096

pixeles de 15 micras con $0,31''$ pix $^{-1}$) y un conjunto de filtros de anchura intermedia (10 nm) centrados en 320, 330, 340, 355, 365, 375 y 394 nm. Los resultados preliminares después de tres noches de observación en invierno de 2020-21, muestran que la extinción en Calar Alto a esas longitudes de onda es similar a la que se ha medido en otros observatorios de primera línea (Mauna Kea, Roque de los Muchachos, Kitt Peak, Paranal, entre otros). En particular, nuestras medidas arrojan una extinción en el cenit de 0,9 mag a 320 nm.

El diseño de TARSIS junto con el tiempo de exposición diferente requerido para cada apuntado en los rangos azul y rojo del espectro condicionan la estrategia observacional de CATARSIS. Cada posición del cielo se observará en 5 apuntados, con pequeños desplazamientos (dithering) entre sí de pocos segundos de arco, lo que permitirá cubrir los pequeños huecos entre los cuatro canales. Cada apuntado constará de cuatro exposiciones de 1920 segundos, con una rotación del campo de 90 grados entre exposición y exposición. De esta forma conseguiremos de forma homogénea el tiempo de exposición mencionado anteriormente para todos los cúmulos de CATARSIS tanto en el rango azul como en el rojo.

Para cubrir la muestra de cúmulos de CATARSIS hasta la profundidad requerida serán necesarios un total de 672 apuntados, lo que implica un total de 5392 horas de observación. Teniendo en cuenta que en Calar Alto se esperan unas 1500 horas nocturnas despejadas al año, según las estadísticas de los últimos 20 años, y que CATARSIS observará en noches total o parcialmente oscuras, el tiempo estimado para terminar CATARSIS es de unos 6 años. Así, las primeras observaciones de CATARSIS tendrán lugar a principios de 2027 y la primera liberación de datos (DR0) seis meses después. A partir de ahí, están previstas cuatro liberaciones de datos más, separadas por unos 12 meses. La última, DR4, se espera para finales de 2033.

El equipo de TARSIS y CATARSIS está compuesto por:

Investigadores Principales: Armando Gil de Paz (UCM), Jorge Iglesias Páramo (IAA-CSIC).

Científica a cargo de CATARSIS (Project Scientist o PS): Patricia Sánchez-Blázquez (UCM).

Representantes del consorcio de TARSIS: Esperanza Carrasco Licea (INAOE), Jesús Gallego Maestro (UCM), José M. Vilchez Medina (IAA-CSIC), José Oñorbe (US), Almudena Zurita (UGR), Ester Martín Garzón (UAL), Javier Piqueras López (CAB, CSIC-INTA), Marco Azzaro (CAHA), Marisa García Vargas (FRACTAL S.L.N.E.; también Gestora del Proyecto).

Equipo del instrumento TARSIS (no mencionados previamente): África Castillo-Morales (UCM), Sergio Pascual Ramírez (UCM), Ana Pérez Calpena (FRACTAL S.L.N.E.), Simon Tulloch (FRACTAL S.L.N.E.), Manuel Maldonado (FRACTAL S.L.N.E.), Ernesto Sánchez Blanco (FRACTAL S.L.N.E.), Gerardo Veredas (FRACTAL S.L.N.E.), Rafael Izazaga-Pérez (INAOE), Nicolás Cardiel López (UCM), Ainhoa Sánchez Penim (UCM), José Miguel Ibáñez Mengual (IAA-CSIC), Miguel Abril Martí (IAA-CSIC), Roberto Varas González (IAA-CSIC), Rocío Calvo Ortega (IAA-CSIC), Sergio Rodríguez Venzal (IAA-CSIC), Héctor Magán Madinabeitia (IAA-CSIC), David Pérez Medialdea (IAA-CSIC), Isabel Bustamante Díaz (IAA-CSIC), Emilio J. García Gómez-Caro (IAA-CSIC), Celia Navas Martín (IAA-CSIC), Jesús Aceituno (CAHA), Vicente González Ruiz (UAL), Enrique de Guindos (CAHA), Luis Hernández (CAHA), Santiago Reinhart (CAHA), Daniel Benítez (CAHA), Jens Helmling (CAHA), David Maroto (CAHA), Vicente Gómez (CAHA), Jaime Zamorano (UCM), Beatriz Callejas Córdoba (UCM), Francisco Miguel Montenegro Montes (UCM), María Peñataro Blanco (FRACTAL S.L.N.E.), Miguel Arroyo (INAOE), Magda Hernández (INAOE), Valentín López (INAOE), Jorge Reyes (INAOE), Yaritza Borroel (INAOE), José Antonio Martínez García (UAL), Juan José Moreno Riado (UAL), Mónica Relañó (UGR).

Miembros del equipo (científico) de CATARSIS:

Responsables científicos adjuntos: Alfredo Montaña (INAOE), Carolina Kehrig (IAA-CSIC) y José Oñorbe (US).

Equipo científico: CATARSIS: Yago Ascasibar (UAM), Nicolás Cardiel (UCM), Esperanza Carrasco (INAOE), África Castillo Morales (UCM), Salvador Duarte (IAA-CSIC), Anna Ferré-Mateu (IAC), Estrella Florido (UGR), Lluís Galbany (UAB), Jesús Gallego (UCM), Marisa García Vargas (FRACTAL S.L.N.E.), Armando Gil de Paz (UCM), Mariángeles Gómez-Flechoso (UCM), Javier Gorgas (UCM), Jorge Iglesias Páramo (IAA-CSIC), Yolanda Jiménez Teja (IAA-CSIC), Álvaro Labiano (ESAC), Adriana de Lorenzo Caceres (IAC-CSIC), Miguel Mas-Hesse (CAB, CSIC-INTA), Divakara Mayya (INAOE), Jairo Méndez-Abreu (IAC), Raúl Mújica (INAOE), Emma de Oña Wilhelmi (DESY), Sergio Pascual (UCM), Isabel Pérez (UGR), Pablo G. Pérez-González (CAB, CSIC-INTA), Enrique Pérez-Montero (IAA-CSIC), Javier Piqueras López (CAB, CSIC-INTA), Santi Roca-Fàbrega (UNAM), Daniel Rosa-González (INAOE), Sebastián Sánchez (UNAM), David Sobral (U. Lancaster), Elena Terlevich (INAOE), Roberto Terlevich (INAOE), José R. Valdés (INAOE), Alexandre Vazdekis (IAC-CSIC), José Manuel Vilchez (IAA-CSIC), Eva Villaver (CAB, CSIC-INTA), Jaime Zamorano (UCM), Almudena Zurita (UGR). La Galaxia y el Grupo Local: Miriam García (CAB, CSIC-INTA), Martín Guerrero (IAA-CSIC), Artemio Herrero (IAC-CSIC), Jesús Maíz Apellániz (CAB, CSIC-INTA). Sistema solar: Álvaro Álvarez-Candal (U. Alicante), René Duffard (IAA-CSIC). Transitorios y objetos de oportunidad: Alberto Carramiñana (INAOE).

El equipo de TARSIS quiere agradecer al Observatorio de Calar Alto y al MCIN por la financiación requerida para poder completar este proyecto en fecha y en requerimientos.

