



## INVESTIGACIÓN ATMOSFÉRICA

### Caracterización de la óptica atmosférica y de la meteorología en los Observatorios Astronómicos de Canarias: estaciones astroclimáticas

A.M<sup>a</sup>. Varela y C. Muñoz-Tuñón

Instituto de Astrofísica de Canarias

*Existen una serie de parámetros relevantes para la selección de un enclave astronómico para la instalación y diseño de un gran telescopio. La meteorología local, el tiempo útil y las condiciones climáticas son obviamente algunos de ellos. Otros más específicos relacionadas con la calidad de imagen y con el comportamiento de la turbulencia atmosférica son obligatorios no sólo para la selección de sitio, sino también para el diseño del telescopio. Asimismo, el estudio de viabilidad para su construcción implica conocer propiedades del suelo y de los regímenes de velocidad de viento y ráfagas en las capas bajas de la atmósfera. Presentamos aquí un nuevo concepto para la caracterización de la atmósfera sobre los Observatorios Astronómicos: la estación astroclimática (AS).*

#### 1. Introducción

El Observatorio del Roque de los Muchachos (ORM) en La Palma y el Observatorio del Teide (OT) en Tenerife, están localizados a 2400m, sobre la capa de inversión. Las condiciones particulares en alta montaña, la presencia de la capa de inversión a 600-1000m sobre el nivel del mar (tapadera de flujos verticales) y las condiciones orográficas, definen completamente un clima diferente a las características en zonas por debajo de esta capa.

Desde la Estación Meteorológica de Izaña (próxima al OT) se ha almacenado una extensa base de datos desde 1916. El Instituto Nacional de Meteorología (INM) en Canarias recoge en un informe titulado *Climatología del Parque Nacional de las Cañadas del Teide* un análisis detallado de las tendencias climáticas. El OT carece de una base de datos tan extensa que permita un análisis climatológico similar, de manera que hemos extrapolado estos datos.

Recientemente se ha publicado un informe centrado en la isla de La Palma [http://www.eso.org/astclim/espas/espas\\_reports/LaPalma.Climate.pdf](http://www.eso.org/astclim/espas/espas_reports/LaPalma.Climate.pdf) a partir de datos meteorológicos obtenidos en la Estación del Aeropuerto de Mazo (a nivel del mar). En dicho informe los autores extienden sus conclusiones al ORM. En este contexto citamos los comentarios de la Directora del Centro Meteorológico Territorial en Canarias Occidental, Dra. Carmen Rus, afirmando que *este clima es absolutamente diferente del clima de las zonas altas de las islas: con temperaturas extremas debido a la elevada insolación (se registra el máximo número de horas de sol por término medio de toda España), escasez de nubosidad, e inviernos muy rigurosos con vientos fuertes y nieve, la precipitación es baja y concentrada en muy pocos días de lluvias intensas que se producen principalmente en los meses de verano.*

El principal objetivo del grupo de Calidad del Cielo del IAC es caracterizar la calidad astronómica de los observatorios, conocer la climatología del seeing (o de calidad de imagen), la influencia de la orientación de nuevos emplazamientos en relación al viento dominante y elegir lugares idóneos para la ubicación de futuros grandes telescopios. Para ello se ha definido recientemente un nuevo concepto (acuñado por P. Sheglov) que engloba todas las técnicas e instrumentos que pueden ser usados para comprender mejor y explotar la calidad del cielo en los enclaves astronómicos: la estación astroclimática (AS).



Así pues, una AS engloba: monitores de calidad óptica de imagen; SCIDAR, instrumento para obtener los perfiles verticales de turbulencia; SLODAR (utilizando sensores de onda Shack-Hartmann); GSM, instrumento que proporciona (bajo hipótesis del modelo) el ángulo isoplanático, tiempo de vida *speckle* y escala externa de la turbulencia (muy importante porque compete con el tamaño de los futuros Giga-telescopios); MASS, para medir la distribución vertical de la turbulencia atmosférica terrestre a partir del centelleo de estrellas brillantes; AWS o estaciones meteorológicas automáticas; monitores de vapor de agua, para la caracterización infrarroja; límites observables en el ultravioleta; extinción atmosférica y porcentaje de noches fotométricas; fondo de brillo del cielo; perfiles de viento a diferentes alturas de la atmósfera; sismicidad y microsismicidad; algoritmos de predicción de *seeing*; medidas de OH; caracterización de las capas de potasio y sodio mesosférico; estrellas láser guía o LGS, y cualquier otra técnica que pueda ser considerada en el futuro.

Una recopilación de todos estos parámetros ha sido publicada en un folleto bajo el título *European Northern Observatory (ENO): Canary Islands, a privileged site for astronomical Observations*, por C. Muñoz-Tuñón, R. Rutten y A.M. Varela, 2001 y en un artículo de revisión de Muñoz-Tuñón, 2001, presentado en el IAU/IAI Technical Workshop SITE2000 *Astronomical Site Evaluation in Visible and Radio Range*. Información detallada en la página web de nuestro proyecto: <http://www.iac.es/project/sitestesting/site.html>.

## 2. Calidad óptica (climatología del *seeing*) e infrarroja (vapor de agua)

Las condiciones astronómicas en los Observatorios de Canarias han sido repetidamente medidas por diferentes grupos e instalaciones telescópicas durante años, proporcionando estadísticas que los confirman entre los mejores enclaves astronómicos del mundo. Para complementar estas medidas y producirlas sistemática y continuamente el IAC en colaboración con el Dpto. de Astrofísica de Niza comienzan en 1992 el diseño y fabricación de un monitor de *seeing* basado en la técnica del movimiento diferencial de la imagen o DIMM. El *seeing* se calcula a partir de la varianza de la distancia que separa a ambas imágenes mediante procedimientos matemáticos descritos en Sarazin & Roddier, *A&A* **227**, 294 (1990); Vernin & Muñoz-Tuñón, *PASP* **107**, 1 (1995). El tiempo de exposición es de 10ms, y la varianza de las variaciones de los centroides se calcula para 200 imágenes, lo que se traduce en un dato cada medio minuto. Esta técnica evita las aberraciones ópticas e inestabilidades por viento. Su instalación sobre una torre de 5m se justifica para evitar la contribución de la turbulencia de la capa superficial.

Las medidas se deben realizar durante noches completas para estudiar el comportamiento del *seeing* frente a cambios meteorológicos locales, y durante años completos, para estudiar su climatología. A partir de 10 años de campañas intensivas en los observatorios canarios podemos concluir que en el 50% de los casos el *seeing* es mejor que 0.58-0.68" ( $r_0$  o parámetro de Fried mayor que 17.4cm). En general es bastante homogéneo en diferentes enclaves y estable durante períodos de varios años. Existe una dependencia estacional del *seeing*: mejores condiciones en verano coincidiendo con la presencia de una capa de inversión bien definida debido al mayor predominio de los alisios (Muñoz-Tuñón et al., *A&A Suppl. Ser.* **125**, 183, 1997, Varela et al., 2003 enviado).

La caracterización óptica atmosférica debe ir complementada con el estudio de la meteorología. Para ello hemos dispuesto de varias AWS consistentes en una unidad de adquisición de datos y un mástil equipado con sensores meteorológicos estándar que proporcionan un conjunto de variables cada minuto. La selección con parámetros troposféricos es también muy importante. Para los detalles en esta línea véase la contribución de García-Lorenzo et al. en este encuentro.





Para las observaciones en el IR medio, el contenido de vapor de agua determina la transparencia del cielo. Las montañas elevadas (Hawai) o regiones áridas (Atacama) son idóneas para tales observaciones. No obstante, no sólo la altitud determina esta calidad, sino que la temperatura puede jugar un papel importante en las predicciones de los modelos. Esto último favorece claramente a los observatorios canarios situados a menor altitud que otros observatorios también excepcionales como Mauna Kea en Hawai. Una campaña intensiva realizada en el ORM utilizando monitores de cielo y radiosonda aportan que un 39% de las noches la densidad columnal de vapor de agua es menor que 3mm/airmass, e inferior a 1mm en un 10% de los casos (Kidger et al., *New AR.* **42**, 537, 1998).

### **3. Tiempo útil de observación astronómica. Regímenes locales de viento. Fondo de brillo del cielo**

Diferentes fuentes proporcionan estadísticas de tiempo útil de observación en el ORM del 68%-79%, comparables con las de Paranal (Chile) y mejores que en Mauna Kea (Hawai). En términos de velocidad de viento, el límite de operación telescópica está en torno a 40km/h, esto hace un 95% de tiempo útil de observación en el ORM. Este valor decrece al 90% si consideramos las ráfagas.

Los elevados picos en las islas occidentales complican los patrones de flujo de aire en los observatorios. En particular, los perfiles de dirección de viento presentados en las costas de Teide y La Palma (convexa y cóncava respectivamente) puede producir diferentes patrones de viento (McInnes & Walker, *PASP* **86**, 529, 1974), dominando los octantes NW y N en el OT frente a la componente NE dominante en Fuente Nueva –ORM- (Font Tullot, Servicio Meteorológico Nacional, Madrid 1956; Sánchez, *Urania* **267-268**, 48, 1968; Mahoney et. al., *NewAR* **42**, 417, 1998, Varela et al., *Astrophys.&Spa.Sci.* **263**, 373, 2000). En ambos observatorios aparece una clara componente anabática diurna asociada la orografía local que puede tener implicaciones relevantes en las observaciones astronómicas solares. El cartografiado detallado del viento local es también trascendental para el diseño e instalación de los telescopios, teniendo en cuenta que se trata de superficies con 50-100m de diámetro enfrentadas al viento.

Benn y Ellison, *NewAR* **42**, 503 (1998) proporcionaron un espectro típico del cielo en el ORM en una noche de luna nueva. Las principales características están asociadas al brillo del aire y a la luz zodiacal, salvo las líneas de emisión de NaD 5890/6 y de mercurio en 4358 y 5461 Å asociadas a las luminarias de poblaciones cercanas. La contaminación lumínica al cenit es menor que 0.03 magnitudes en cualquier banda óptica (Díaz-Castro, *NewAR* **42**, 509, 1998).

### **4. Transmisión atmosférica**

Otro factor de influencia en el clima de toda la región de Canarias es la proximidad con el continente africano; con un máximo absoluto en verano y otro relativo en Enero (J. J. Bustos et al. I Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica, Almería, Feb 98), inestabilizando la atmósfera y reduciendo la transparencia que en las cumbres, en general, es excelente. El polvo sahariano es claramente el punto débil de nuestros observatorios. No obstante, el efecto de drenaje y la altura del OT y del ORM hacen que el porcentaje de tiempo en el que la calima los alcanza sea muy inferior al de las zonas bajas. Guerrero et al., *NewAR* **42**, 529 (1998) concluyen que el 75% de noches en verano no están afectadas por polvo, aumentando al 90% el resto del año. La moda de la extinción es 0.11 mag/airmass con un límite 0.153 mag/airmass en noches con polvo.

Los estudios de la transparencia del aire y aerosoles son de extremo interés para nuestro grupo y el detalle de su estudio y modelado se sale de nuestro tema de investigación. Esperamos de este encuentro aprender y establecer los contactos necesarios para complementar este tipo de información.