

INFORME INVITADO – INVITED REVIEW

**La imagen del telescopio de 2,15 m de la UNLP en CASLEO: la perspectiva de un usuario**

S. A. Cellone<sup>1</sup>

(1) *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP – IALP, CONICET*

**Resumen.** Se presenta una evaluación de la calidad de la imagen entregada por el telescopio “Jorge Sahade” de la UNLP en CASLEO, cuantificada por el ancho total a mitad del máximo (FWHM) de la distribución superficial de energía de una fuente puntual (PSF). Los datos se obtuvieron a lo largo de 6 años, durante 15 turnos de observación, por lo que cubren un amplio rango de situaciones, en condiciones reales de observación. Esto permite contrastar el FWHM de la imagen contra las distintas variables: masa de aire, ángulo horario, etc. Se obtiene un tamaño de imagen promedio  $\langle \text{FWHM} \rangle = 3''.7$ . Se detectan también algunas tendencias, en particular un fuerte deterioro de la imagen para ángulos horarios  $|AH| > 2$  hs. Se discuten estos resultados, en comparación con mediciones obtenidas en otros observatorios y a la luz de 20 años de funcionamiento de CASLEO.

## 1. Introducción

De los diversos parámetros que caracterizan el rendimiento de un telescopio óptico, la calidad de la imagen es determinante. De su capacidad para concentrar la luz de una fuente puntual en el área más chica posible dependen la resolución espacial, los errores fotométricos, y la eficiencia del telescopio en todos los modos de observación.

Desde su inauguración en 1986, el telescopio de 2,15 m de la UNLP en CASLEO (bautizado en 1996 con el nombre de “Jorge Sahade”) ha presentado problemas con la calidad de su imagen. A pesar de la gravedad del tema y de los permanentes reclamos por parte de los usuarios, llama la atención la falta de un diagnóstico claro basado en datos objetivos. El presente informe, que apunta a una cuantificación del problema mencionado, se basa en 2180 imágenes tomadas con CCD directo en el telescopio “Jorge Sahade” para el programa de microvariabilidad en AGNs (ver Romero et al. 1999, 2000a,b, 2002; Cellone et al. 2000).

Es importante recalcar que se trata de observaciones que no se tomaron con el propósito de medir el *seeing* del lugar, sino que corresponden a un programa con objetivos científicos. Por lo tanto, en lo que sigue no se hablará de *seeing* sino del tamaño de una imagen estelar, teniendo en cuenta que el mismo involucra factores atmosféricos y del telescopio y su entorno, así como problemas de seguimiento, foco, aberraciones, etc. Es decir, *por su propia naturaleza, y por la cantidad involucrada, estos datos son representativos del rendimiento del telescopio en condiciones reales de observación.*

## 2. Metodología

Todas las observaciones se obtuvieron con la cámara CCD *Tektronix* 1024 + reductor focal + filtro *V*. Para cuantificar la calidad de la imagen se aprovechó la fotometría de abertura existente. Se puede ver que la diferencia entre las magnitudes instrumentales medidas con diafragmas de radios diferentes es un buen indicador de calidad de la imagen. Pero es conveniente expresar el tamaño de una imagen estelar con un parámetro más conocido, como el FWHM, definido como el ancho total a mitad del máximo del ajuste gaussiano a su distribución bidimensional de flujo. Para esto, se generaron imágenes estelares artificiales (gaussianas) de FWHM conocido, sobre las que se midieron  $\Delta m_{2,4} = m_2 - m_4$ ,  $\Delta m_{4,6} = m_4 - m_6$ , y  $\Delta m_{2,6} = m_2 - m_6$ , donde  $m_2$ ,  $m_4$  y  $m_6$  son las magnitudes medidas con diafragmas de 2 pix ( $1''.6$ ), 4 pix ( $3''.3$ ) y 6 pix ( $4''.9$ ) de radio, respectivamente.

En la Fig. 1 se muestran  $\Delta m_{2,4}$ ,  $\Delta m_{4,6}$  y  $\Delta m_{2,6}$  en función del FWHM para las imágenes artificiales. Se ve que  $\Delta m_{2,6}$  (cuadrados) provee la mayor sensibilidad al FWHM. Se muestran con cruces algunas mediciones sobre imágenes reales; se nota que la estimación es razonablemente buena, y, al menos, adecuada para los fines de este informe.

Se seleccionó entonces una estrella de cada imagen, estimándose el FWHM a partir de las medidas de  $\Delta m_{2,6}$  mediante un ajuste polinómico a la curva superior de la Fig. 1. Se eligieron siempre estrellas aisladas, bien expuestas pero no saturadas, y cerca del centro del campo.

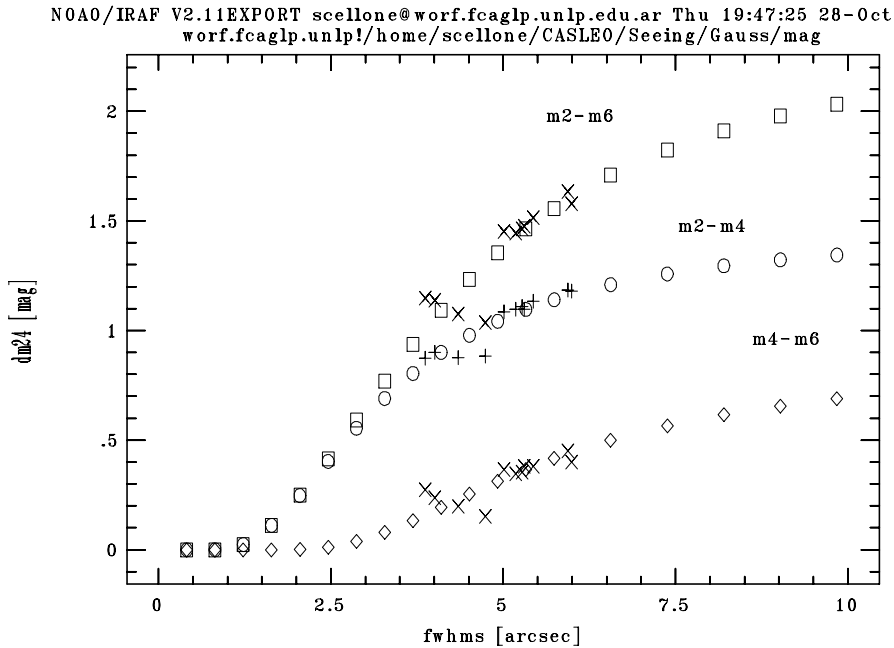


Figura 1. Diferencia entre magnitudes con distintas aberturas en función del FWHM para imágenes artificiales (símbolos abiertos) e imágenes reales (cruces).

### 3. Resultados

La Fig. 2-(*izq.*) es el histograma de las 2180 mediciones. La distribución tiene una media de  $3''.7$ , una moda de  $3''.3$  y una desviación estándar de  $0''.84$ . El valor mínimo medido de FWHM es de  $2''.1$ . Notar que el método usado para estimación del FWHM deja de ser sensible recién para  $\text{FWHM} \lesssim 1''.5$  (ver Fig. 1).

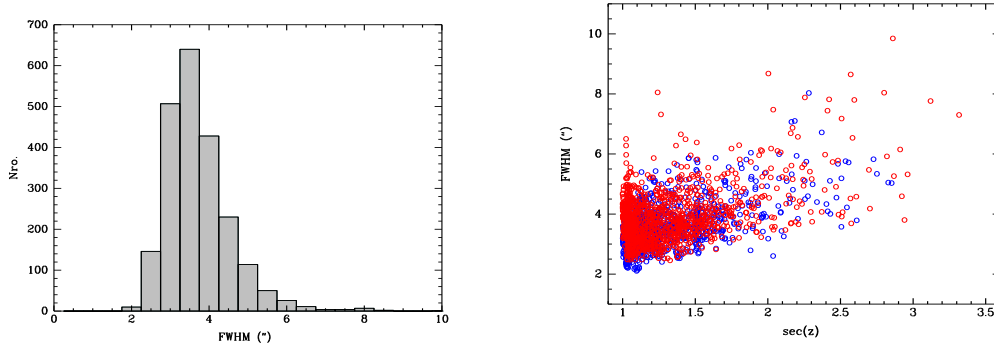


Figura 2. *Izquierda:* Histograma de las 2180 mediciones. *Derecha:* Variación del FWHM con la masa de aire; círculos azules:  $TU < 05:00$  hs; rojos:  $TU > 05:00$  hs.

#### 3.1. Dependencia con la masa de aire

La Fig. 2-(*der.*) muestra la variación del FWHM con la masa de aire. Si bien se nota que el FWHM tiende a crecer con la  $\text{sec}(z)$ , hay una fuerte dispersión de FWHM aun para masas de aire cercanas a 1. Notar que el 95% de los datos corresponden a  $\text{sec}(z) < 2.0$ , y el 75% a  $\text{sec}(z) < 1.44$ , por lo que *la gran mayoría de los datos están tomados en condiciones normales de observación.*

En esta figura, como en la Fig. 4, se dividieron los datos en 2 grupos: aquellos tomados en la primera mitad de la noche ( $TU < 05:00$  hs), mostrados en azul, y los de la segunda mitad de la noche ( $TU > 05:00$  hs), en rojo.

#### 3.2. Dependencia con el tiempo de integración

Las observaciones se hicieron con tiempos de integración que van desde unos pocos segundos hasta unos 800 segundos ( $\sim 13$  min). La dependencia del FWHM con el tiempo de integración puede verse en la Fig. 3-(*izq.*).

Si bien hay pocos datos con  $t_{\text{exp}} < 60$  seg, los valores de FWHM parecen menores para  $t_{\text{exp}}$  debajo del minuto. Para  $t_{\text{exp}} > 60$  seg no se ve ninguna tendencia clara con el tiempo de integración.

#### 3.3. Comportamiento a lo largo del tiempo

Dentro del período que abarcan los datos, la evolución del FWHM a lo largo de los años no parece marcar ninguna tendencia particular (Fig. 3-*der.*).

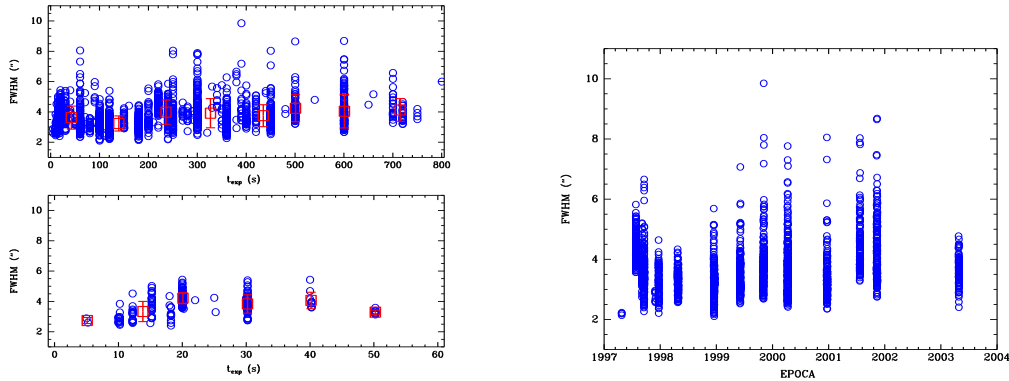


Figura 3. *Izquierda:* FWHM en función del tiempo de integración ( $t_{\text{exp}}$ ); círculos azules: datos individuales, cuadrados rojos: promedios en rangos de  $t_{\text{exp}}$ . Panel superior: rango completo; panel inferior:  $t_{\text{exp}} < 60$  seg. *Derecha:* FWHM en función de la época de observación.

### 3.4. Dependencia con el ángulo horario

En el panel superior de la Fig. 4 se muestra el FWHM en función del ángulo horario ( $AH$ ), con símbolos azules para datos de la primera mitad de la noche ( $TU < 05:00$  hs), y símbolos rojos para datos de la segunda mitad de la noche ( $TU > 05:00$  hs). El FWHM, en promedio (ver panel inferior), crece para  $|AH| \gtrsim 2^{\text{h}}$ . Según la naturaleza del programa de observación de AGNs, los datos para  $AH > 0^{\text{h}}$  tienden a corresponder a la segunda mitad de la noche, y los de  $AH < 0^{\text{h}}$  a la primera mitad, ya que generalmente se seguía un mismo objeto durante 6 a 8 hs. En el panel inferior de la Fig. 4 queda claro que, a igual  $AH$ , el FWHM es mayor durante la segunda mitad de la noche. Sin embargo, la tendencia con  $AH$  siempre está presente, independientemente del instante de observación.

### 3.5. Asimetría norte-sur

Según la experiencia de varios astrónomos visitantes, las imágenes tomadas con el telescopio apuntando al norte tenderían a ser peores que hacia el sur. A fin de verificar esto, se tomaron dos submuestras de los datos, una de 362 datos con declinaciones al sur del cenit ( $-75^\circ \leq \delta \leq -40^\circ$ ) y otra de 369 datos al norte del cenit ( $-30^\circ \leq \delta \leq +12^\circ$ ), cuidando que ambas cubrieran el mismo rango de masas de aire ( $1.15 \leq \sec(z) \leq 1.50$ ). Ambas submuestras incluyen cantidades comparables de datos y las distribuciones de masas de aire son virtualmente indistinguibles entre una y otra (Fig. 5-*izq.*); sin embargo las distribuciones de FWHM son claramente diferentes, mostrando una media y una dispersión mayores para las observaciones al norte del cenit (Fig. 5-*der.*). Esto demuestra que en el deterioro de la imagen influye al menos otra variable además de la masa de aire.

### 3.6. Comparación con otros observatorios

Es lógico tomar como referencia a otros observatorios en cuanto a calidad de imagen y lo que hay que hacer para mejorarla. Sin embargo, hay que tener cuidado, ya que la experiencia no puede simplemente exportarse de un lado a

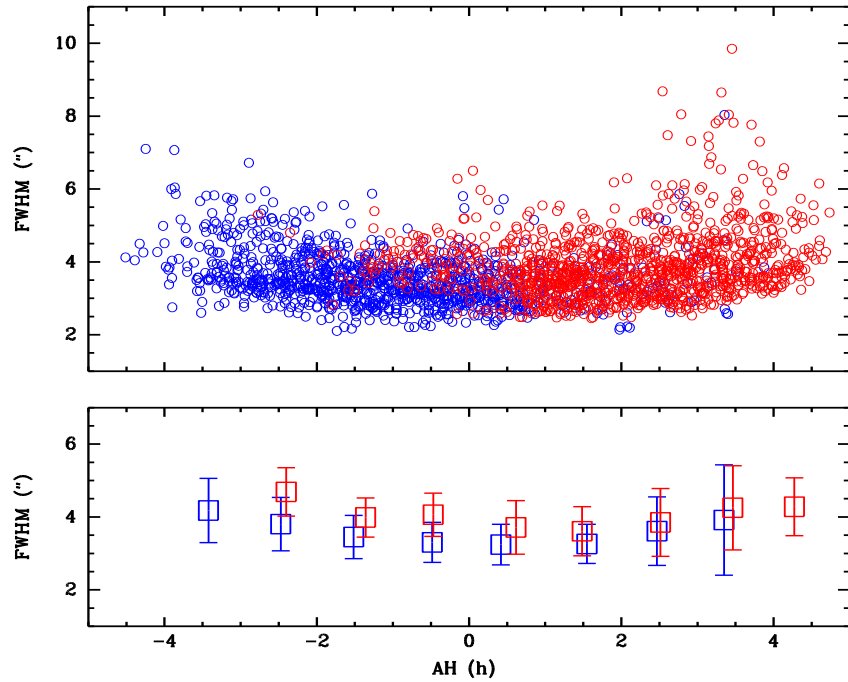


Figura 4. FWHM en función del ángulo horario  $AH$ ; símbolos azules:  $TU < 05:00$  hs, símbolos rojos:  $TU > 05:00$  hs. Panel superior: valores individuales. Panel inferior: promedios cada 1 hora de  $AH$ .

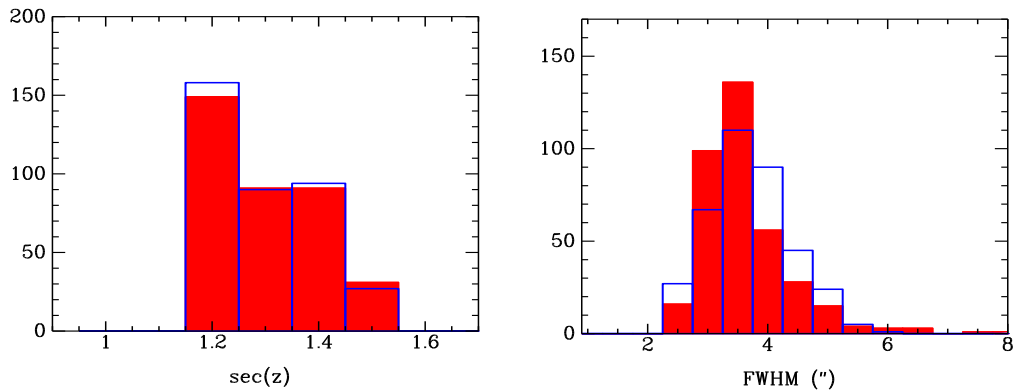


Figura 5. *Izquierda*: Histograma de masas de aire para las dos submuestras seleccionadas según declinación (rojo: sur; azul: norte). *Derecha*: Histograma de FWHM para las dos submuestras.

otro. Por ejemplo, en el estudio de seeing realizado por Racine et al. (1991) para el CFHT<sup>1</sup> los valores “malos” de FWHM rondan el segundo de arco; la aplicación

<sup>1</sup>Canada - France - Hawaii Telescope.

de los resultados de ese estudio a CASLEO requeriría una extrapolación por un factor  $\simeq 4$ .

Otro telescopio que se ha usado para comparar con el de la UNLP en CASLEO es el 3.6 m del ESO, que también es un instrumento de óptica pasiva y similar tecnología. En la Fig. 6 se comparan los comportamientos típicos del FWHM a lo largo de la noche en cada uno. Los datos del ESO fueron tomados sin ningún tipo de refrigeración del telescopio ni de su ambiente, sólo operaba la ventilación forzada del espejo primario. Notar que, a pesar de que los datos de ESO corresponden a valores de  $\sec(z)$  peores que los de CASLEO, el FWHM se mantiene estable en valores cercanos al segundo de arco aun para  $|AH| > 2$  hs y hasta  $|AH| \simeq 4$  hs. Por el contrario, en CASLEO, el FWHM ronda los  $3''$  para observaciones cercanas al meridiano, y se hace significativamente mayor para  $|AH| > 2^h$ , tanto al este como al oeste, aun cuando la masa de aire no es muy grande (para este campo, en la fecha de observación  $AH = \pm 2^h$  corresponde a  $\sec(z) \simeq 1.15$ ).

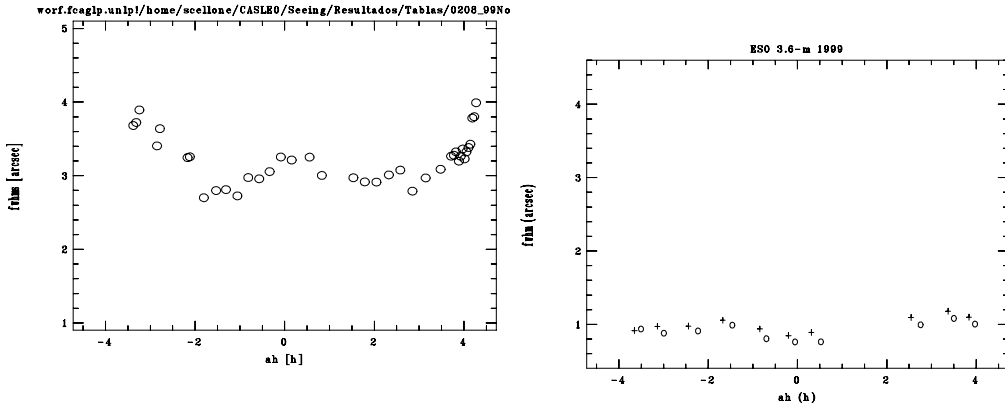


Figura 6. Evolución del FWHM con el ángulo horario, para el campo de PKS 0208–512 en CASLEO (*izq.*) y para el campo de NGC 5044 (Cellone & Buzzoni 2001, 2005), tel. 3.6 m ESO (*der.*). El gráfico de la izquierda se desplazó hacia arriba para hacer coincidir las escalas de los ejes verticales.

El contraste que se acaba de mencionar se mantiene aun comparando con telescopios no ubicados en sitios de calidad sobresaliente. Tal es el caso, por ej., del telescopio de 2.2 m de Calar Alto (España), con el que observamos en noviembre de 2005, obteniendo valores de FWHM parejos y cercanos al segundo de arco para un muy amplio rango de  $AH$ .

### 3.7. El mito de la inmunidad

La gravedad del problema de la imagen en CASLEO queda ilustrada en la Fig. 7, en la que se comparan imágenes del mismo objeto tomadas con distintos valores de FWHM.

Existe un mito fuertemente arraigado entre el personal de CASLEO en el sentido de que este problema sólo afectaría a los datos fotométricos, mientras que la espectroscopía sería virtualmente inmune a la mala calidad de la imagen.

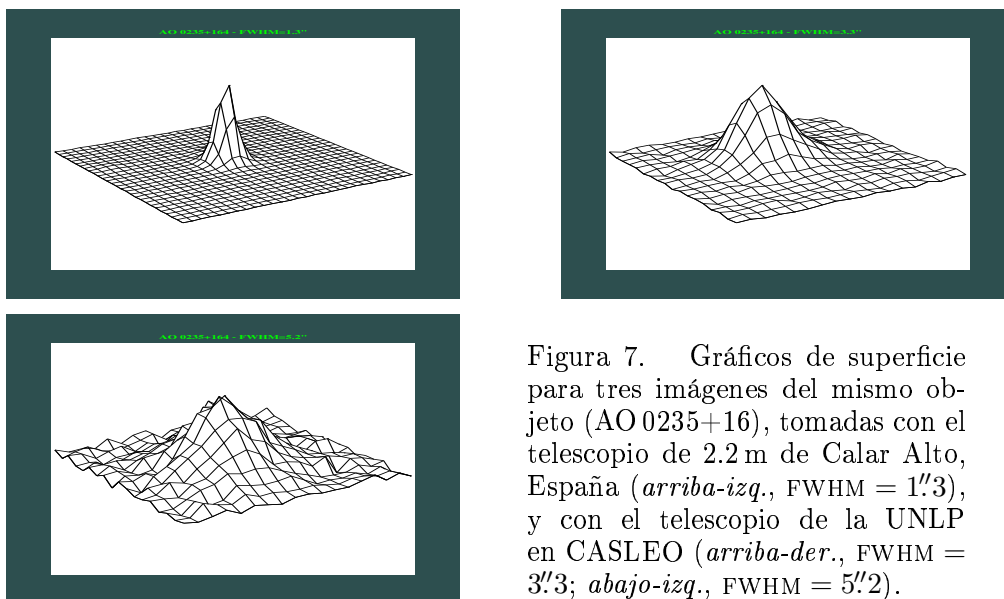


Figura 7. Gráficos de superficie para tres imágenes del mismo objeto (AO 0235+16), tomadas con el telescopio de 2.2 m de Calar Alto, España (*arriba-izq.*, FWHM = 1''3), y con el telescopio de la UNLP en CASLEO (*arriba-der.*, FWHM = 3''3; *abajo-izq.*, FWHM = 5''2).

Sin embargo, con sólo usar una calculadora de tiempos de exposición, como las que hay en las páginas *web* de la mayoría de los observatorios<sup>2</sup> se puede ver que, en modo espectroscópico y condiciones usuales de observación, la relación señal ruido ( $S/N$ ) para FWHM = 3''5 cae a menos de un tercio de la  $S/N$  para FWHM = 1''0; para muchos proyectos científicos, esto equivale a la diferencia entre obtener datos útiles y no obtener nada más que ruido.

Por otra parte, muchos programas de observación en modo espectroscópico requieren de una buena resolución espacial (p. ej., para separar la emisión de un núcleo galáctico activo de la formación estelar circundante); estos programas también quedan descartados si la calidad de la imagen es mala.

En resumen, **la mala calidad de la imagen afecta a todo proyecto que requiera:**

- **observar objetos débiles**
- **y/o alcanzar buena resolución espacial,**

y esto vale ***para todos los modos de observación.***

El rendimiento del telescopio "Jorge Sahade" queda ilustrado con una mirada a la Tabla 1, que lista los observatorios participantes en el monitoreo del blazar AO 0235+164 por Raiteri et al. (2005), resaltándose en **negrita** los instrumentos que contribuyeron con más de 80 datos útiles (última columna, entre paréntesis). Se ve que el telescopio de la UNLP en CASLEO, con sus 2.15 m de diámetro, en realidad compite con telescopios de diámetros entre 35 cm y 1.5 m.

<sup>2</sup>La página de CASLEO (<http://www.casleo.gov.ar>) aún carece de esta útil herramienta.

Tabla 1 Lista de observatorios en el trabajo de Raiteri et al. (2005).

Observatory	$d$ (cm)	$N_{\text{tot}}$
IAO Hanle, India	200	49 (43)
<b>Mt. Maidanak, Uzbekistan</b>	<b>150</b>	1194 (1096)
Abastumani, Georgia (FSU)	70	41 (32)
Crimean, Ukraine	70	55 (53)
<b>Skinakas, Crete</b>	<b>130</b>	105 (92)
Tuorla, Finland	103	44 (17)
Vallinfreda, Italy	50	1 (1)
<b>Armenzano, Italy</b>	<b>40</b>	112 (88)
Perugia, Italy	40	10 (5)
Michael Adrian, Germany	120	7 (5)
Greve, Italy	32	1 (1)
<b>Torino, Italy</b>	<b>105</b>	233 (177)
Heidelberg, Germany	70	5 (2)
Calar Alto, Spain	220	101 (15)
Sabadell, Spain	50	90 (1)
<b>Roque (KVA), La Palma</b>	<b>35</b>	180 (95)
Roque (NOT), La Palma	256	80 (71)
Roque (TNG), La Palma	358	2 (2)
<b>CASLEO, Argentina</b>	<b>215</b>	114 (114)
Bell, Kentucky	60	10 (10)
Kitt Peak (SARA), Arizona	90	36 (24)
Mt. Lemmon, Arizona	100	20 (12)
Lowell (Perkins), Arizona	180	11 (10)
Mauna Kea, Hawaii	60	8 (2)
Total		2509 (1968)

#### 4. Conclusiones

El análisis de una masa de 2180 datos obtenidos a lo largo de 6 años con el telescopio “Jorge Sahade” de la UNLP en CASLEO, bajo condiciones reales y normales de observación, muestra que:

- El FWHM de las imágenes estelares toma valores con una media de  $3''.7$ , con una fracción significativa de datos por encima de los  $4''$ .
- El FWHM tiende a crecer en forma abrupta para ángulos horarios superiores a 2 horas, tanto al este como al oeste. Esto vale aun cuando la masa de aire involucrada no sea grande ( $\sec(z) \simeq 1.2$ ).
- Existen asimetrías entre las observaciones al norte y al sur del cenit, indicando la existencia de variables no tenidas en cuenta hasta ahora.
- La mala calidad de la imagen es un problema grave, que limita los proyectos científicos que se deseen encarar con el instrumento, independientemente del modo de observación.



La persistencia de este problema a lo largo de los años ha llevado a una fuerte acotación de los proyectos científicos realizados con nuestro telescopio (el único instrumento óptico accesible para toda la comunidad argentina) y a un alejamiento de usuarios. Esto último es doblemente nocivo, ya que, por un lado, afecta a la calidad de la producción científica generada con el telescopio. Y por otro lado, al dejar muchos observadores experimentados de concurrir a CASLEO, se pierde la interacción de los mismos con el personal técnico. Esta interacción es imprescindible para mantener y mejorar el funcionamiento del Complejo; recordemos que fueron astrónomos visitantes los que identificaron el origen de problemas tales como la imagen triple que afectó al telescopio durante sus primeros 5 años de funcionamiento (ver Casagrande et al. 1992).

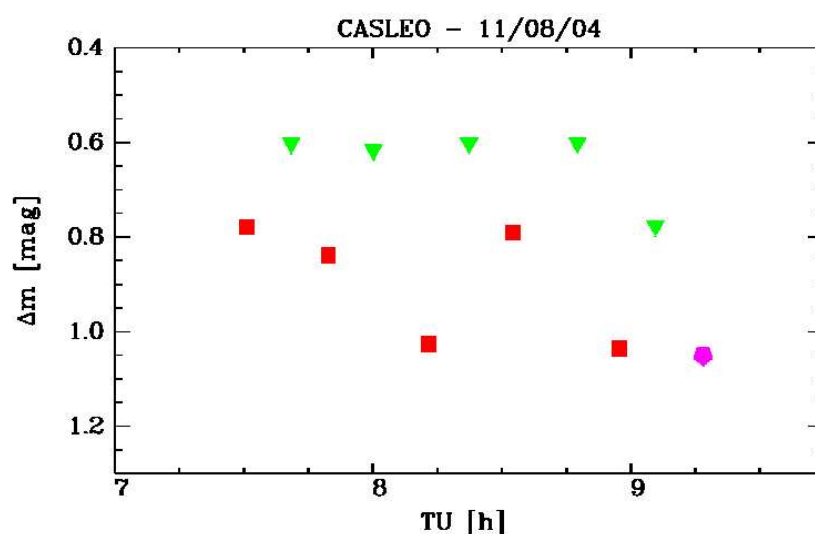


Figura 8. Fotometría diferencial entre dos estrellas no variables, de un campo observado en enero de 2005. Los triángulos corresponden a imágenes tomadas con la rueda de filtros en la posición 3 (*V*), los cuadrados corresponden a la posición 4 (*R*), y el pentágono a la posición 5 (*I*), todo esto según lo indicado por el sistema de adquisición. Sin embargo, la figura muestra que uno de los datos supuestamente *V* en realidad fue tomado con el filtro *R*, mientras que dos de los supuestos *R* son en realidad *I*. Este comportamiento errático de la rueda de filtros se viene repitiendo desde hace años, con el consiguiente impacto negativo en los proyectos científicos.

Por otra parte, la persistencia del problema de la imagen, así como de otros problemas recurrentes (ruedas de filtros [ver Fig. 8], seguimiento, falta de documentación actualizada, etc.), se contraponen con el excelente trabajo que ha desarrollado y desarrolla el personal técnico de CASLEO. A todos los usuarios nos consta que en el Complejo se ha reunido un grupo de ingenieros y técnicos que, además de contar con destacable idoneidad, se dedican a su trabajo con gran esfuerzo y sacrificio. Sin embargo, este esfuerzo debería orientarse debidamente mediante una fluida comunicación con los usuarios, y un correcto funcionamiento

de los órganos de conducción y asesoramiento del CASLEO (Comité Directivo, Comité Científico, Dirección). La actual situación parece derivar de una fijación de prioridades que se opone a los objetivos básicos del CASLEO enunciados en su Convenio de creación, y de una cada vez más limitada participación de los usuarios en la toma de decisiones.

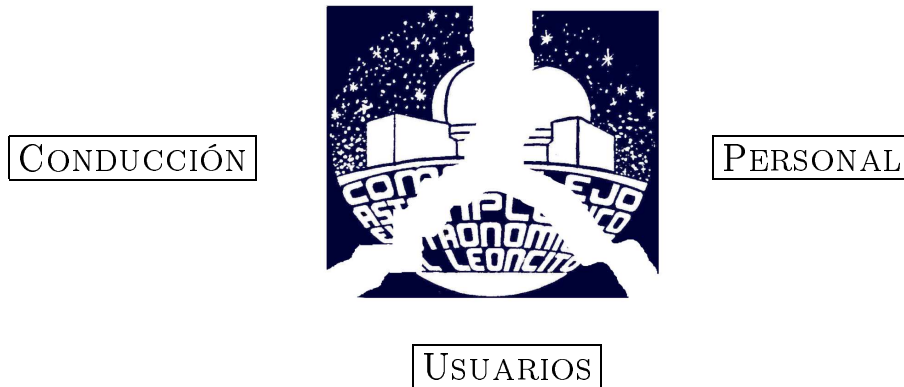


Figura 9. Los usuarios somos parte fundamental en la estructuración de un Complejo Astronómico que cumpla un papel destacado y eficiente en la generación de conocimiento. Hoy, el CASLEO funciona como una institución fragmentada.

## Referencias

- Casagrande A. R., Victoria D. R., & Giuliani J. L. 1992, BAAA, 37, 175  
 Cellone, S. A., & Buzzoni, B. 2001, A&A, 369, 742  
 Cellone, S. A., & Buzzoni, B. 2005, MNRAS, 356, 41  
 Cellone, S. A., Romero, G. E., & Combi, J. A. 2000, AJ, 119, 1534  
 Racine, R., Salmon, D., Cowley, D., & Sovka, J. 1991, PASP, 103, 1020  
 Raiteri, C. M., et al. 2005, A&A, 438, 39  
 Romero, G. E., Cellone, S. A., & Combi, J. A. 1999, A&AS, 135, 477  
 Romero, G. E., Cellone, S. A., & Combi, J. A. 2000a, A&A, 360, L47  
 Romero, G. E., Cellone, S. A., & Combi, J. A. 2000b, AJ, 120, 1192  
 Romero, G. E., Cellone, S. A., Combi, J. A., & Andruchow, I. 2002, A&A, 390, 431