

ÍNDICE

Agradecimientos	9
Prólogo	11
¿Por qué saco fotos del cielo?	13
CAPÍTULO 1 - Introducción a los 7 pilares de la astrofotografía ...	21
Introducción	21
Los siete pilares fundamentales de la astrofotografía	24
La adquisición y el procesamiento digital: Dos componentes esenciales	25
Una metáfora para intentar ilustrar la idea anterior	29
Reflexiones sobre la calidad final y el riesgo de la IA.....	30
Primer pilar: Condiciones ambientales.....	32
Segundo pilar: Foco o enfoque.....	34
Tercer pilar: Guiado.....	35
Cuarto pilar: Tiempo de exposición de subframes	37
Quinto pilar: Tiempo total de integración	38
Sexto pilar: Procesamiento digital.....	39
Séptimo pilar: El astrofotógrafo	40
Reflexiones finales	42
CAPÍTULO 2 - La cámara astrofotográfica	
¿Por qué es importante?	45
Optimización de la calidad de la imagen en astrofotografía:	
Los sensores digitales	46
Fundamentos del funcionamiento de los sensores fotográficos	48
El tamaño del sensor	48
CCD vs. CMOS: La evolución de los sensores astrofotográficos...	50
Sensores CCD: Charged Coupled Device	51
CMOS: Complementary metal-oxide Semiconductor.....	51

Breve resumen del debate CCD vs. CMOS: ¿Cuál es mejor?	53
Factores críticos en el rendimiento del sensor.....	53
Resolución y tamaño del píxel: La búsqueda del equilibrio	53
Full Well o capacidad de acumulación de electrones del píxel	55
Implicaciones del Full Well en astrofotografía.....	56
Control del ruido en astrofotografía	58
Eficiencia cuántica: Hagamos que cada fotón cuente	59
Implicancias de la eficiencia cuántica	60
Una cámara para cada necesidad	60
Fotografía planetaria	61
Astrofotografía de cielo profundo	62
Fotografía lunar y solar	63
Astrofotografía de campo amplio.....	64
Consideraciones prácticas para la selección de equipo	65
FOV Field of View o Campo de visión.....	66
Importancia de conocer el FOV de nuestra configuración astrofotográfica.....	68
Características de una cámara astrofotográfica.....	68
El efecto fotoeléctrico.....	69
Aplicación en sensores de cámaras fotográficas	70
Aspectos básicos de un sensor astrofotográfico	70
Disposición u ordenamiento de los filtros en la matriz de Bayer...	75
Pérdida de eficiencia en la transmisibilidad debida a la matriz de Bayer.....	76
Sensores Front-Illuminated en comparación con Back-Illuminated ...	80
Defectos de Full Well: Blooming y Smear	82
Blooming.....	82
Smear.....	83
Conclusiones: Un arte fundado en ciencia	83

CAPÍTULO 3 - El procesamiento digital de la imagen astrofotográfica: PARTE 1

Imágenes de datos y de calibración.....	87
Tipos de imágenes astrofotográficas	87
Características técnicas y configuraciones de los Lights	89
Generalidades prácticas para la realización de Bias	95
Generalidades prácticas para la realización de Darks	97

Mecánica de captura de Flats y requisitos técnicos.....	99
¿Qué es un histograma?.....	100
Particularidades del histograma en astrofotografía: Lineal vs.	
No Lineal	102
El ADU en astrofotografía	104
Desde el flujo de la señal hasta ADU.....	104
Optimización de la exposición	105
Correcciones aplicadas por los Flats	106
¿Qué significa PRNU de forma sencilla?	107
¿Por qué los Flats corrigen el PRNU?	108
Consideraciones avanzadas	108
Impacto en el procesamiento final	109
El concepto de integración o apilado.....	111
La relación señal-ruido o S/R.....	113
Mejora de la relación S/R a través del apilado	114
El rango dinámico	116
Proceso de captura de las fotos de calibración: Revisión	118
Bias.....	118
Darks	119
Flats	119
Dark Flats	121
Efectos aditivos y multiplicativos en astrofotografía.....	121
Efectos Aditivos	121
Efectos Multiplicativos	122
Calibración de imágenes astrofotográficas.....	123
Preparación:.....	123
Calibramos cada Light individual:	123
Integración o apilado final	124

CAPÍTULO 4 - El procesamiento digital de la imagen astrofotográfica: PARTE 2

Introducción	127
La deconvolución en el proceso de imágenes astrofotográficas...	128
¿Qué es la Convolución? La importancia del PSF	128
El proceso de deconvolución	134
Desafíos de la deconvolución	135
Métodos y algoritmos comunes de deconvolución	135

El aporte del telescopio Hubble	136
Desarrollo de la aplicación astrofotográfica en función del	
Hubble.....	137
Drizzle	137
Imágenes submuestreadas o subsampleadas	137
El Drizzle o método de corrección lineal de imágenes	
subsampleadas	145
Estrategias para mejorar la calidad de nuestros Flats.....	150
Conclusiones.....	153
Relación focal del telescopio y luminosidad de la imagen	155
La relación focal y su impacto en la captura de luz	156
Definición matemática y cálculo práctico de la relación focal	158
La compleja interacción entre apertura y relación focal	159
Dinámica profunda de la recolección de luz	161
La analogía de un sistema de cubos: visualizando la distribu-	
ción de luz.....	162
El impacto de una relación focal baja en la calidad de imagen....	163
Ventajas operativas de un sistema de relación focal rápida.....	164
Efectos cuantitativos en la relación señal-ruido	166
Análisis del impacto concreto en la relación Señal-Ruido	167
Implicaciones de la obstrucción central	168
Efectos específicos en telescopios Schmidt-Cassegrain y	
Newtonianos	169
Comparaciones detalladas con telescopios refractores.....	170
Estrategias para seleccionar el equipo adecuado.....	171
Alineando la relación focal con objetivos fotográficos	
específicos	172
Un ejemplo concreto: Celestron Edge 11 pulgadas a F2 y F10.....	173
El principio de conservación del brillo superficial.....	177
Un problema diferente que puede generar confusiones.....	179
Veamos un ejemplo:	179
Fundamentos físicos de la recolección de luz	180
Relación focal comparada con la capacidad de recolección de	
luz	180
Evolución de la relación señal-ruido.....	182
Comparación de la resolución angular entre ambos sistemas	183

CAPÍTULO 5 - Fuentes de ruido en imágenes astrofotográficas

Introducción	187
Formas de ruido más comunes en imágenes astrofotográficas	188
Ruido de disparo (Shot Noise o Ruido Cuántico).....	189
Ruido de lectura (Read Noise).....	189
Ruido térmico (Thermal Noise)	189
Ruido de patrón fijo (Fixed Pattern Noise).....	189
Ruido “Walking Noise”	189
Ruido causado por rayos cósmicos.....	190
Ruidos por polución luminosa	190
1. Ruido de disparo (Shot noise)	190
2. Ruido de lectura	193
3. Ruido térmico	195
4. Ruido de patrón fijo.....	198
5. Walking Noise	201
6. Ruido por Rayos cósmicos	203
7. Ruidos por polución luminosa	204
La escala Bortle	205

CAPÍTULO 6 - El enfoque astrofotográfico

Introducción	211
¿Qué es enfocar?.....	213
La profundidad de foco en detalle.....	214
Diferencia entre punto focal y plano focal	216
El ¿problema? del plano focal.....	218
El misterioso Backfocus.....	221
Importancia del enfoque en astrofotografía	225
Resolución de detalles	225
Minimizar el ruido	240
Métodos de enfoque	241
Métodos de enfoque manuales	241
Método “A ojo”	241
Método mediante máscara Bahtinov	242
Método de enfoque mediante máscara Hartmann o Scheiner.....	243
Método de enfoque mediante máscara de Hartmann modificada ..	245
Método de enfoque mediante máscara GoldFocus.....	246
Métodos de enfoque automáticos	247

Método de enfoque por FWHM.....	248
Método de enfoque por HFD	250
Ventajas del modo de enfoque HFD.....	251
Desventajas del modo de enfoque HFD	251
Método de enfoque mediante Sigma mínimo	252
Procedimiento automatizado para calcular el Sigma Mínimo	252
Ventajas del método de enfoque Sigma.....	254
Desventajas del método de enfoque Sigma	254

CAPÍTULO 7 - El guiado astrofotográfico

Introducción	257
La importancia del guiado.....	259
El error de guiado medido en términos de RMS	262
Sistemas de guiado típicos utilizados en astrofotografía	271
Componentes típicos del sistema de guiado con telescopio guía .	271
Componentes típicos del sistema de guiado fuera de eje (Off-Axis Guiding)	272
Componentes típicos del sistema de guiado en eje (On-Axis Guiding).....	274
Componentes típicos del sistema de guiado con cámara de doble sensor	277
Interrelación entre los componentes de guiado	278
Pasos del funcionamiento del guiado	280
1. Proceso de calibración del software de guiado.....	280
2. Proceso de detección	281
3. Proceso de análisis.....	284
4. Proceso de corrección.....	285
5. Proceso de almacenamiento de datos y aprendizaje iterativo	288
Modelización predictiva mediante algoritmos adaptativos	289
Desafíos en la implementación práctica	290
Tipos de errores que corrige el guiado	290
1. Error Periódico (PE)	291
2. Errores de puesta en estación	294
3. Errores remanentes de deriva	296
4. Juego entre sinfín y corona o Backlash	297
5. Errores de flexión diferencial	299
6. Errores terrestres y ambientales	303

7. Errores de Slop.....	304
La precarga como un modo de minimizar los efectos del Backlash	307
Una aclaración con respecto a las monturas armónicas	309
El efecto del Backlash en los ejes de ascensión recta y declinación	309
Un punto de partida obligatorio: Un balanceo neutro perfecto	311
El principio de la carga constante: Forzando el contacto entre los dientes	311
Procedimiento detallado paso a paso para la precarga del eje de ascensión recta	312
Calibrando la cantidad de precarga	314
El desafío del eje de declinación.....	315
Procedimiento de desalineación controlada	316
Configuración del software de guiado (PHD2)	317

CAPÍTULO 8 - Tiempo óptimo de Subframe y tiempo total de integración

Introducción	321
Consideraciones preliminares e introductorias	322
Un primer ejercicio teórico: La cámara ideal	323
La cámara ideal: Ventajas y desventajas	324
Desventajas en exposiciones demasiado largas:	324
Desventajas en exposiciones demasiado cortas:	325
La cámara ideal frente a la cámara real.....	325
Conclusión preliminar sobre exposiciones largas.....	326
Aclaración preliminar respecto a la suma del ruido.....	326
¿Cómo se combinan esos dos niveles de ruido para calcular el nivel de ruido final del píxel?	327
¿Por qué el ruido se suma en cuadratura?	328
Influencia y características el ruido	330
La distribución de Poisson.....	331
Parámetros clave de la distribución de Poisson:	332
El ruido astrofotográfico en la distribución de Poisson.....	332
Implicaciones en astrofotografía	334
¿Por qué se utiliza la raíz cuadrada?	334
Optimización de la relación Señal-Ruido.....	335

Comparación del ruido de disparo con baja y alta señal de fotones	335
Conclusiones: Distribución de Poisson y la Relación S/R.....	335
Tiempo óptimo de subframe.....	336
Relación S/R según cielos Bortle 1, 3, 6 y 8.....	337
Un repaso y los diferentes tipos de ruidos astrofotográficos.....	342
Hacia una formulación de tiempo óptimo de subframe	344
Electrones que provienen de la polución luminosa	344
¿Cómo se vinculan la polución luminosa y el ruido térmico?.....	345
Deducción matemática de la fórmula	345
Derivación de la fórmula	346
Ruido del Fondo >> Ruido de Lectura	347
Algunas consideraciones derivadas.....	348
Determinación de parámetros del sistema	351
Cálculo de la contaminación lumínica	351
Limitaciones y consideraciones especiales.....	352
Limitaciones de la metodología.....	352
Condición preliminar.....	352
Variabilidad de las condiciones	352
Factores de equipamiento	352
Consideraciones de almacenamiento y procesamiento	352
Gestión de datos	353
Aplicabilidad a diferentes tipos de objetos.....	353
Conclusiones finales al tiempo óptimo de subframe.....	354

CAPÍTULO 9 - El tiempo total de integración

Tiempo total de integración.....	357
El ruido de disparo como ruido aleatorio y sus consecuencias	360
Tiempo de subframe y ruido de disparo: Un ejemplo	360
Un ejemplo respecto de la SNR y el tiempo total de integración.....	364
Reflexiones acerca de la ganancia marginal	365
Algunas reflexiones.....	366
Ejemplos de SNR en integración final	367
Conclusiones finales al tiempo total de integración	368
Guía práctica para estimar el SNR objetivo	369
Paso 1: Definir a priori el objetivo de SNR para nuestra imagen	370
La calidad visual de la astrofotografía y la relación con la SNR .	371

Paso 2: Calcular el tiempo óptimo de subframe	373
Paso 3: Calcular el tiempo total de integración	373
Un cálculo base	373
El brillo superficial versus la magnitud total	375
Clasificación de objetos por dificultad fotográfica	376
Categoría 1: Objetos de alto brillo superficial	376
Categoría 2: Objetos de brillo superficial moderado	376
Categoría 3: Objetos de bajo brillo superficial	377
Categoría 4: Objetivos abordados bajo la técnica de banda angosta	377
Reflexiones finales	378

CAPÍTULO 10 - Filtros de banda angosta

Características, usos y desplazamiento de la longitud de onda en función de la relación focal del sistema óptico	381
Filtros interferenciales de banda angosta en astrofotografía	381
El funcionamiento de un filtro interferencial en detalle	384
Selección y desplazamiento de la longitud de onda en función de la relación focal	386
El ancho de banda de un filtro de banda angosta	387
Dependencia de la incidencia angular de la fuente de luz	390
Cálculo del ángulo de luz incidente en función de la relación focal	390
Las razones del desplazamiento del ancho de banda	395
Cuantificando el desplazamiento: El rol del índice de refracción efectivo	399
Palabras finales y soluciones posibles para telescopios rápidos ...	400

CAPÍTULO 11 - El astrofotógrafo como pilar esencial de la astrofotografía

Introducción	403
1. Paciencia, fortaleza y tolerancia ante la frustración	405
2. Dedicación y compromiso temporal	409
3. Disciplina y metodología	410
4. Curiosidad científica y sed de conocimiento	412
5. Capacidad de adaptación y flexibilidad	420
6. La perseverancia y la resistencia ante el fracaso	426

7. Creatividad y sensibilidad artística.....	432
8. Capacidad de comunicación y divulgación	438
La construcción de puentes entre ciencia y sociedad	441
La formación de comunicadores científicos integrales	442

**Apéndice 1 - Drizzle: Un método para la reconstrucción lineal
de imágenes submuestreadas**

Resumen.....	445
Introducción	446
El método	450
Detección de rayos cósmicos.....	453
Fidelidad de la imagen.....	454
Fotometría	456
Astrometría.....	458
Ruido en imágenes a las que se ha aplicado Drizzle.....	458
La naturaleza del problema	458
Realización de los cálculos.....	460
Algunos ejemplos de aplicación de Drizzle	463
Conclusiones.....	464
Referencias	465
Glosario.....	467
Reconocimiento	484