



AEVAH · AGENCIA ESPACIAL VALLE ALTO HENARES

PROTOCOLOS CIENTÍFICOS Y PLAN DE GESTIÓN DE DATOS

Misión Estratosfera · Curso 2026/2027

CRA La Encina · CEIP Romualdo de Toledo · IES Valle del Henares
Mancomunidad Valle del Alto Henares · Guadalajara

05_PROTOCOLOS_CIENTIFICOS_Y_DATOS.md

PROCOLOS CIENTÍFICOS Y PLAN DE GESTIÓN DE DATOS

Manual técnico-científico del proyecto. Incluye protocolos de cada experimento con calibración, procedimientos de medición, gestión de incertidumbres, publicación de datos abiertos y metodología de análisis posterior.

1. PRINCIPIOS DE CALIDAD CIENTÍFICA

1.1 Compromiso del proyecto

- **Trazabilidad:** todos los datos brutos se conservan sin manipular durante al menos 5 años desde el vuelo.
- **Reproducibilidad:** todos los códigos, configuraciones y procedimientos se publican.
- **Cita y reconocimiento:** quienes contribuyan al proyecto figuran en la memoria final.
- **Apertura:** dataset bajo licencia **CC BY 4.0**; código bajo **MIT** o **GPLv3**.
- **Revisión por pares:** un tutor científico externo revisa el análisis antes de su publicación.

1.2 Tutor científico externo

[VERIFICAR compromiso]: se buscará la colaboración formal de un investigador o docente universitario. Propuestas:

- **Universidad de Alcalá** — Escuela Politécnica Superior (departamentos de Física y de Tecnología Electrónica).
- **Universidad de Castilla-La Mancha** — campus de Toledo o Albacete (Física y Ciencias Ambientales).
- **AEMET** — Centro Meteorológico de Madrid.
- **OSPF (Observatorio Astronómico Sierra de Madrid o equivalente) [VERIFICAR].**

2.2 Listado completo de componentes

Ref.	Componente	Marca/modelo	Función	Coste aprox.
U1	Microcontrolador	ESP32-DevKitC	Maestro	12 €
U2	Sensor TPH	BME280 (módulo)	Temperatura, presión, humedad	6 €
U3	Sensor UV	VEML6075	Radiación UV-A/UV-B	15 €
U4	IMU	MPU6050	Aceleración y giro 3D	5 €
U5	GPS	u-blox NEO-6M	Posición, altitud, velocidad	12 €
U6	Lector microSD	SPI	Logging	4 €
U7	Sensor T externo	DS18B20 con cable IP68	T externa con 1 m de cable	8 €
U8	Datalogger 2.º	Arduino Pro Mini 3.3 V	Redundancia	6 €
U9	Sensor TP 2.º	BMP280	Redundancia	4 €
U10	RTC	DS3231	Hora precisa	5 €
U11	Display OLED 0,96"	SSD1306 (opcional)	Diagnóstico en suelo	5 €
B1	Batería primaria	4× AA L91 + portapilas	Energía datalogger	12 €
B2	Batería secundaria	2× AA L91 + portapilas	Energía Arduino	6 €
B3	Powerbank	10.000 mAh USB-C	Cámaras	25 €
K1	Tracker APRS	LightAPRS-W o RS41 modificado	Tracking radio	180 €
K2	Tracker GSM	Tractive / PaqueteRastreador	Tracking GSM	60 €
C1	Cámara primaria	GoPro Hero 11/12 Black	Vídeo 4K nadir	400 €
C2	Cámara secundaria	Insta360 GO 3 / Akaso V50	Vídeo lateral	250 €
SD1	Tarjeta microSD	SanDisk Extreme 128 GB V30	Almacenamiento	18 €
SD2	Tarjeta microSD	SanDisk Extreme 128 GB V30	Almacenamiento C2	18 €
SD3	Tarjeta microSD	SanDisk Industrial 32 GB	Logging	12 €
W1-Wn	Cableado y conectores	DuPont, JST, USB	—	15 €
BOX	Cápsula EPS	XPS 3 cm pared	Estructura	25 €
AISL	Manta térmica aluminizada	—	Aislamiento interior	5 €

Total componentes electrónicos (sin cámara): ~370 €. Con cámaras: ~1.020 €.

2.3 Esquema de conexiones (resumen)

Bus I²C (3.3 V)

- ESP32 GPIO21 (SDA), GPIO22 (SCL)
- BME280: 0x76 (predeterminado) o 0x77
- VEML6075: 0x10
- MPU6050: 0x68

- DS3231: 0x68 (conflicto con MPU; usar ADO alto en MPU para 0x69)

Bus SPI (3.3 V)

- ESP32 GPIO19 (MISO), GPIO23 (MOSI), GPIO18 (CLK), GPIO5 (CS)
- microSD lector

UART

- GPS NEO-6M: TX → ESP32 GPIO16, RX → ESP32 GPIO17, 9600 baud

1-Wire

- DS18B20 externo: GPIO4 con resistencia pull-up 4,7 kΩ

2.4 Encendido y secuencia de boot

1. ESP32 inicia.
2. Lee configuración (config.txt en SD).
3. Inicializa todos los sensores (3 reintentos cada uno).
4. Escribe cabecera en log: VUELO ESTRATOS_ENCINA_2027, fecha, hora RTC, versión firmware.
5. Comprueba GPS hasta 60 s; si fija → registra; si no fija → continúa con timestamp interno.
6. Loop principal (1 Hz):
 - a) Lee todos los sensores con timeout 250 ms.
 - b) Compone línea CSV.
 - c) Escribe en SD + flush cada 10 s.
 - d) Si APRS conectado, envía paquete cada 60 s.
 - e) Si GSM conectado, envía SMS cada 5 min.
7. Si baja la batería < 10 %, cambia a 0,2 Hz para alargar autonomía.

2.5 Estimación de consumo y autonomía

Subsistema	Consumo medio	Autonomía esperada
ESP32 + sensores	80 mA @ 3.7 V	25 h con 4× AA L91 (8 Wh)
GPS	50 mA @ 3.3 V	Incluido arriba
GSM (TX cada 5 min)	Pico 1,5 A pero medio 30 mA	Suficiente
APRS (TX cada 60 s)	Pico 0,5 A pero medio 60 mA	Banco propio o portapilas dedicado
GoPro	~1,2 A @ 5 V	4-5 h con powerbank 10.000 mAh aislado
Calentador interno (opcional, 1 W)	0,3 A @ 3.3 V	Reduce autonomía a la mitad

Vuelo total esperado: 3 h. **Autonomía objetivo: 8 h (margen >2x).**

3. PROTOCOLOS DE CALIBRACIÓN

3.1 BME280 — Temperatura, Presión, Humedad

3.1.1 Temperatura

- **Comparar con termómetro patrón** (precisión $\geq 0,1$ °C, calibrado).
- **Mediciones en 5 puntos:** -20 °C (congelador), 0 °C (baño hielo+agua), 22 °C (laboratorio), 35 °C (cámara a 35 °C controlada o cuarto cálido controlado), 50 °C (estufa a 50 °C — si el BME280 lo

soporta sin alterar otros sensores).

- Anotar 30 lecturas por punto, calcular media y desviación estándar.
- Ajuste lineal: $T_{\text{real}} = a \cdot T_{\text{sensor}} + b$.
- Documentar en `calibracion_BME280.csv`.

3.1.2 Presión

- **Comparar con barómetro patrón** (precisión 0,1 hPa).
- Medición en 3 puntos: presión ambiente del laboratorio, presión reducida en cámara hipobárica si está disponible (≤ 200 hPa, simulación de 12 km), y comparación con barómetro de referencia AEMET.
- Si no hay cámara hipobárica: trasladar el sensor a varias altitudes (Sierra de Ayllón, p. ej. 2.000 m de cota) y comparar.

3.1.3 Humedad relativa

- **Comparar con higrómetro patrón** (psicrómetro de aspiración o instrumento profesional).
- Mediciones en 3 puntos: ~25%, ~50%, ~75% RH (usar cámaras controladas o salinidad de saturación con sales: MgCl_2 , NaCl , K_2SO_4).
- Ajuste lineal por separado para cada rango.

3.2 DS18B20 — Temperatura externa

- Calibración igual al BME280 punto T.
- Test específico a baja temperatura: comparar con termómetro de mercurio (rango -30 a +50 °C).
- **Probar el cable a -50 °C** en hielo seco durante 30 min: verificar que el cable no se rompe ni el sensor falla.

3.3 VEML6075 — Radiación UV

- **Comparar con índice UV proporcionado por AEMET** en estaciones cercanas el mismo día.
- Mediciones en 5 momentos del día (mañana, mediodía, tarde) durante 3 días soleados.
- Ajuste de respuesta lineal del sensor a la radiación.
- Calibración cruzada con dosímetro UV si se dispone (préstamo de instituto).

3.4 MPU6050 — Aceleración y giro

- Calibración de offsets en reposo (1 minuto sobre superficie horizontal estable).
- Test de orientación: el eje Z debe leer $\sim 9,81$ m/s² en reposo vertical.
- Test rotacional: girar el sensor 90° en cada eje y verificar lecturas.

3.5 GPS NEO-6M

- Test al aire libre durante 6 horas continuas.
- Verificar precisión (típica: $\pm 2,5$ m).
- Verificar altitud (calibrar con punto conocido).
- Verificar fix de altitud: el NEO-6M tiene **limitación de altura ~ 12 km** por defecto (limitación COCOM); **es imprescindible activar el modo "airborne $1g$"** en u-Center antes del vuelo o el GPS perderá fix a partir de 12 km.

3.6 Resumen de calibraciones (tabla de control)

Sensor	Calibrado	Fecha	Operador	Documento
BME280 #1	[]			calibracion_BME280_1.csv
BME280 #2 (redundancia)	[]			calibracion_BME280_2.csv
DS18B20	[]			calibracion_DS18B20.csv
VEML6075	[]			calibracion_VEML6075.csv
MPU6050	[]			calibracion_MPU6050.csv
GPS modo airborne	[]			screenshot_uCenter.png

4. PROTOCOLOS DE EXPERIMENTOS A BORDO

4.1 EXP-01: Perfil vertical T-P-RH

- **Pregunta de investigación:** ¿Cómo varía la temperatura, presión y humedad con la altitud en un vuelo real?
- **Hipótesis:** T cae linealmente hasta la tropopausa (~12 km en mayo) a tasa ~6,5 °C/km. P decae exponencialmente con escala $H \approx 7-8$ km. RH cae bruscamente al entrar en la estratosfera (aire muy seco).
- **Variables:** T_int, T_ext, P, RH, altitud, tiempo.
- **Frecuencia de muestreo:** 1 Hz.
- **Tratamiento de datos:** filtrado simple, regresión P(z), identificación de tropopausa, ajuste por ISA.

4.2 EXP-02: Dosimetría UV con altitud

- **Pregunta:** ¿Cómo aumenta el índice UV en función de la altitud?
- **Hipótesis:** UV-A y UV-B aumentan con la altitud al disminuir la dispersión y la absorción por ozono troposférico.
- **Frecuencia:** 1 Hz.
- **Tratamiento:** corrección por ángulo solar (cosecante), correlación con altitud.

4.3 EXP-03: Aceleración y dinámica del vuelo

- **Pregunta:** ¿Cuándo y con qué amplitud se producen las aceleraciones más significativas del vuelo?
- **Hipótesis:** Tres eventos significativos detectables: lanzamiento (impulso vertical inicial), reventón del globo (impacto súbito), despliegue del paracaídas y aterrizaje.
- **Frecuencia:** 10 Hz (mayor que sensores ambientales para captar transitorios).
- **Tratamiento:** detección automática de picos, espectro Fourier, validación contra datos de altitud.

4.4 EXP-04: Semillas viajeras (biológico)

- **Pregunta:** ¿La tasa de germinación y el vigor del crecimiento de las semillas cambian tras un vuelo estratosférico?

- **Hipótesis nula Ho:** no hay diferencia significativa entre el lote viajero y el lote control.
- **Variables:**
 - Tasa de germinación a 7 días (binaria por semilla).
 - Longitud de raíz primaria a 14 días (mm).
 - Vigor (peso seco a 21 días).
- **Diseño:** lotes de 50 semillas por especie (3 especies: lenteja, garbanzo, lino). 25 viajeras + 25 control por especie. Las viajeras se transportan en una pequeña bolsa estéril dentro de la cápsula.
- **Replicado:** se repite 3 veces (3 ensayos de germinación) en aulas distintas.
- **Análisis:** chi-cuadrado para tasa de germinación; t-test para longitud y vigor; $\alpha = 0,05$.

4.5 EXP-05: Comparación de aislantes térmicos

- **Pregunta:** ¿Qué material aísla mejor del frío estratosférico?
- **Hipótesis:** La manta de aluminio + EPS aísla mejor que solo EPS.
- **Materiales:** 4 minicámaras (cubitos 5×5×5 cm) con un sensor DS18B20 interno cada una y un aislante diferente:
 - Solo EPS de 2 cm.
 - EPS + manta de aluminio.
 - EPS + lana de oveja.
 - EPS + vacío (cubito al vacío parcial sellado).
- **Variables:** temperatura interior de cada cubito durante el vuelo.
- **Análisis:** curva T(t) para cada cubito; comparación de mínimos alcanzados.

4.6 EXP-06: Mascota viajera (cualitativo)

- **Pregunta:** ¿La mascota sobrevive estéticamente al vuelo?
- **Documentación:** fotos pre y post.
- **Producto:** la mascota se expone en cada centro tras el vuelo.

4.7 EXP-07: Comparación con AEMET

- **Pregunta:** ¿Cómo se compara nuestro perfil con el radiosondeo oficial de AEMET en Madrid-Barajas?
- **Datos AEMET:** los radiosondeos de Madrid se publican diariamente a 00 y 12 UTC en plataformas como Weather.uwyo.edu.
- **Análisis:** superposición de curvas T(z), P(z), RH(z) entre Misión Estratosfera y AEMET.
- **Discusión:** diferencias por latitud, hora, dinámica local.

5. PLAN DE GESTIÓN DE DATOS

5.1 Estructura del repositorio

```

mision-estratosfera-2027/
├── README.md           # Descripción, licencia, citación
├── LICENSE             # CC BY 4.0 para datos, MIT para código
├── METADATA.md        # Metadatos detallados (DCAT)
├── data/
│   ├── raw/          # Datos brutos sin procesar
│   │   ├── vuelo.csv      # Datalogger principal
│   │   ├── vuelo_secundario.csv
│   │   ├── aprs_packets.log
│   │   └── gsm_messages.log
│   ├── processed/    # Datos procesados
│   │   ├── perfil_T_P_RH.csv
│   │   ├── perfil_UV.csv
│   │   ├── trayectoria.geojson
│   │   └── aceleraciones.csv
│   └── calibracion/  # Datos de calibración
│       ├── BME280.csv
│       ├── DS18B20.csv
│       └── VEML6075.csv
├── code/
│   ├── firmware/    # Código del datalogger
│   │   └── mision_estratosfera_v1.ino
│   ├── analisis/    # Notebooks Jupyter / scripts R
│   │   ├── 01_carga_y_limpieza.ipynb
│   │   ├── 02_perfil_atmosferico.ipynb
│   │   ├── 03_uv_altitud.ipynb
│   │   ├── 04_trayectoria.ipynb
│   │   └── 05_comparacion_aemet.ipynb
│   └── predict/     # Scripts de predicción CUSF
├── docs/
│   ├── memoria_cientifica.pdf
│   ├── memoria_pedagogica.pdf
│   └── posters/     # Pósters de aulas
├── media/
│   ├── fotos/
│   ├── video_principal.mp4
│   └── audios/
└── CHANGELOG.md
```

5.2 Formato de los datos

5.2.1 vuelo.csv (cabecera y muestra)

```

# Datalogger principal Misión Estratosfera v1.0
# Fecha vuelo: 2027-05-29 09:00 UTC
# Lanzamiento: Hita (Guadalajara) – 40°47'N 02°53'W (orientativo)
# Frecuencia muestreo: 1 Hz
# Hora UTC en column 't'
# (continúa cabecera completa con calibraciones aplicadas)
t,ms,T_int_C,T_ext_C,P_hPa,RH_pct,UV_a,UV_b,lat,lon,alt_m,sat,fix
2027-05-29T09:00:01,1000,18.2,17.5,949.1,42.1,3.4,1.8,40.7833,-2.9000,725,9,1
2027-05-29T09:00:02,2000,18.2,17.5,949.1,42.1,3.5,1.8,40.7833,-2.9000,725,9,1
...
```

5.2.2 Metadatos clave

- Operador: Mancomunidad Valle del Alto Henares.
- Proyecto: MISIÓN ESTRATOSFERA — CRA La Encina + IES Jadraque.
- Fecha: 2027-05-29 (orientativo)
- Punto de lanzamiento: lat, lon, elevación.

- Tipo de globo: látex 1.200 g.
- Masa carga útil: ____ g (acta D).
- Altitud máxima alcanzada: ____ m.
- Duración del vuelo: ____ min.
- DOI del dataset: (se asignará al publicar en Zenodo).

5.3 Publicación

- **Zenodo** (con DOI) — repositorio principal.
- **GitHub** — código y notebooks.
- **Web del proyecto** — visualización pública.
- **CSIC Digital.CSIC** — opcional, si hay vinculación con universidad.

5.4 Licencias

- **Datos:** CC BY 4.0 (libre uso con atribución).
- **Código:** MIT (libre uso, comercial o no).
- **Material didáctico:** CC BY-SA 4.0.
- **Vídeo:** CC BY-SA 4.0; canciones con licencias libres documentadas.
- **Logotipo:** CC BY-NC (no comercial, exigir reconocimiento).

5.5 Citación recomendada

CRA La Encina; IES Valle del Henares; CEIP Romualdo de Toledo; Mancomunidad de Municipios "Valle del Alto Henares" (2027). Dataset del lanzamiento estratosférico MISIÓN ESTRATOSFERA. Zenodo. <https://doi.org/10.xxxx/zenodo.xxxxxxx>

6. CONTROL DE ERRORES E INCERTIDUMBRES

6.1 Fuentes de error

Fuente	Magnitud	Mitigación
Error sistemático del sensor	$\pm 0,1-1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 1\text{ hPa}$, $\pm 3\%$ RH	Calibración previa, ajuste en post-proceso
Deriva térmica de los sensores	$< 0,1\text{ }^{\circ}\text{C/h}$	Calentamiento gradual; descarte de las primeras lecturas
Sensor interno influye al externo	T_{int} sesga T_{ext}	Cable largo (1 m) que aleja DS18B20
Radiación solar afecta T_{ext}	Hasta $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ en mediodía	Apantallar el sensor con caja blanca con orificios
Latencia del registro	$< 50\text{ ms}$	Frecuencia muestreo conocida
Pérdida de paquetes APRS	Variable	Datos primarios en SD
GPS pierde fix sobre 12 km	Crítico si no se cambia modo	Modo "airborne $< 1\text{g}$ " activado
Vibraciones	Lecturas IMU ruidosas	Filtrado paso bajo en análisis

6.2 Cuantificación

ALVAM - Misión Estratosfera — Expediente del proyecto · documento de difusión (datos marcados "pendiente de validación oficial" donde corresponde).
 Cada medición se presenta con su intervalo de confianza al 95 %:

$$T = (T_{\text{medido}} + \text{offset_calibracion}) \pm \sigma_{\text{calibracion}} \pm \sigma_{\text{resolucion}}$$

6.3 Detección de outliers

- Filtrado por reglas físicas: $T_{\text{ext}} > 50 \text{ °C}$ o $T_{\text{ext}} < -100 \text{ °C}$ → outlier.
- Filtrado estadístico: valores fuera de $\pm 3\sigma$ del entorno temporal.
- Filtrado de cambios bruscos: $\Delta T > 5 \text{ °C/s}$ sin justificación física → revisar.

6.4 Trazabilidad de procesado

- Cada notebook documenta las transformaciones aplicadas.
- Se publica el dataset **raw** y el **processed** por separado.

7. ANÁLISIS DE TRAYECTORIA — PREDICCIÓN Y VALIDACIÓN

7.1 Herramientas

- **CUSF Tawhiri / Predict** (<https://predict.sondehub.org>) — predictor open source de la Cambridge University Spaceflight Society.
- **APRS.fi** — visualización en tiempo real.
- **HabHub Habitat** — backend de tracking.

7.2 Datos de entrada para CUSF

- Punto de lanzamiento (lat, lon, elev).
- Hora de lanzamiento (UTC).
- Velocidad de ascenso (m/s).
- Altitud de reventón (m).
- Velocidad de descenso (paracaídas) (m/s).

7.3 Ejecución previa al vuelo

- **D-3**: primera predicción con modelo GFS 12 UTC.
- **D-2**: segunda predicción.
- **D-1**: tercera predicción.
- **D-0 mañana**: cuarta predicción con GFS de las 06 UTC.

7.4 Validación post-vuelo

- Comparar punto predicho vs. punto real de aterrizaje.
- Error típico esperado: 5-20 km.
- Documentar en `04_trayectoria.ipynb`.

8. INVESTIGACIÓN COMPLEMENTARIA EN TIERRA

8.1 Estaciones meteorológicas escolares

- Cada centro del CRA registrará T, P, RH, viento durante el mes anterior al vuelo y el mes posterior, con su estación meteorológica si la tienen, o con instrumentos sencillos si no.
- Los datos se publicarán como dataset complementario.
- Si **algún centro no tiene estación**, se puede integrar una **del propietario del proyecto Espinosa Weather Dashboard** (estación de Espinosa de Henares ya operativa) [**VERIFICAR disponibilidad y derechos de uso**].

8.2 Observación astronómica

- Sesión nocturna en algún centro o municipio: telescopio prestado por **AstroCuenca / AstroAlcarria** [**VERIFICAR clubes astronómicos locales**].
- Charla complementaria sobre la frontera entre atmósfera y espacio.

8.3 Ciencia ciudadana

- Llamada a vecinos para fotografiar el globo durante su ascenso (si la trayectoria pasa sobre el casco urbano).
- Recolección de fotos en redes con el hashtag del proyecto.
- Validación posterior: cruzar hora de las fotos con altitud del globo en ese instante.

9. PUBLICACIÓN CIENTÍFICA Y DIVULGATIVA

9.1 Memoria científica final

- 40-60 páginas.
- Estructura tipo:
- Introducción y objetivos.
- Materiales y métodos.
- Resultados.
- Discusión.
- Conclusiones.
- Referencias.
- Anexos (tablas brutas, calibraciones, código).

9.2 Comunicaciones a congresos / jornadas

- **Jornadas FECYT** de cultura científica.
- **Encuentros estatales de proyectos escolares STEAM.**
- **Congreso de la Sociedad Española de Astronomía / Sociedad Aeroespacial** (presentación poster).
- **Jornadas autonómicas de buenas prácticas educativas JCCM.**

9.3 Artículos divulgativos

- 1 artículo en revista escolar de los centros.
- 1 artículo en revista divulgativa autonómica (ej. *Naturalia*, *Henares Magazine*) [**VERIFICAR canales locales**].
- 1 artículo de fondo en *Nueva Alcarria* o periódico provincial.

9.4 Productos audiovisuales con datos

- Vídeo divulgativo de los datos (5-7 min) con narración.
- Infografía interactiva en la web del proyecto.
- Visualización 3D de la trayectoria sobre mapa.

10. ACCESO Y REUTILIZACIÓN DEL DATASET

10.1 Sugerencias de uso para terceros

- **Centros educativos:** pueden replicar el análisis con sus alumnos.
- **Universidades:** disponen de un dataset de referencia con instrumentación amateur en latitud media española.
- **Comunidad HAB amateur:** comparación con sus propios vuelos.
- **AEMET / investigadores:** validación cruzada de modelos.

10.2 Tutorial de uso del dataset

- Notebook tipo `00_tutorial.ipynb` con:
- Carga del CSV.
- Visualización básica.
- Comparación con ISA.
- Reproducción del análisis principal en menos de 100 líneas de código.

10.3 Sostenibilidad del dataset

- Zenodo garantiza preservación a largo plazo (estándar CERN).
- GitHub permite versiones (fork posibles).
- Web del proyecto se compromete a mantenerse al menos 5 años.

Fin del documento de protocolos científicos y datos.