

## TALLER PRÁCTICO

# Construya su propio receptor ADS-B y ponga su cielo en el mapa

Todo lo que cuenta este curso puede comprobarse desde su propia ventana. Este taller le dice exactamente qué comprar, cómo montarlo, cómo instalar el feeder de Dataero en una Raspberry Pi y cómo ver aparecer en radar.dataero.eu los aviones que oye, acreditados a su estación. No hace falta experiencia en radio, electrónica ni Linux. Cuente con unos 100 a 150 euros, una tarde y una ventana con vista al cielo.

Aprender - <https://radar.dataero.eu/es/learning/workshop> 2026-10-22

**CONTENIDO**

**ANTES DE EMPEZAR** Qué va a construir, y por qué merece la pena

**EN UNA IMAGEN** Cómo encajan las piezas

**LISTA DE LA COMPRA** Qué comprar, pieza por pieza

**DÓNDE VA** Colocar la antena: altura, cielo y cable

**PASO 1** Montar el hardware

**PASO 2** Preparar la Raspberry Pi

**PASO 3** Instalar el feeder de Dataero

**PASO 4** Entrar en vivo y reclamar su receptor

**PASO 5** Ajustar, y entender lo que ve

**CUANDO NO FUNCIONA** Resolución de problemas

**DESPUÉS** Mantenerlo en marcha

**PARA UNA CLASE O UNA FAMILIA** Convertir el receptor en un proyecto

**BIENVENIDO** Qué obtienen los feeders, y qué obtiene el mapa de usted

**ANTES DE EMPEZAR**

## Qué va a construir, y por qué merece la pena

Un receptor son cuatro cosas en fila: una antena que capta la onda de 1090 MHz, un dongle USB que convierte la onda en números, un pequeño ordenador que decodifica los números en mensajes y una conexión a internet que lleva las posiciones decodificadas a Dataero. Desde el momento en que el feeder está en marcha, cada avión que oye su antena se dibuja en el mapa en vivo de **radar.dataero.eu**, para todo el mundo, con su estación nombrada como fuente. Nada en la cadena transmite: usted solo escucha, y escuchar es legal en Bélgica, en toda la Unión Europea y en la mayor parte del mundo (si vive en otro lugar, consulte las normas sobre equipos receptores de su país).

El curso explicó por qué funciona el sistema; el receptor le permite ponerlo a prueba. Medirá el horizonte radioeléctrico del capítulo 7 contra aviones reales, verá la ley del inverso del cuadrado en la columna de intensidad de señal, observará cómo cambia la tasa de mensajes con la hora del día y comparará una antena en la ventana con una antena en el tejado. Para una familia es el proyecto que cierra la historia; para una clase es un instrumento permanente en el tejado que produce datos reales todo el año.

También le convierte en **feeder**. El mapa de Dataero se construye por completo a partir de receptores alojados por voluntarios, aeropuertos y escuelas, y el mapa es tan bueno como sus oyentes. Un feeder recibe, gratis, lo que un visitante no tiene: un panel con lo que oye la estación, un mapa de cobertura de

su trozo de cielo en dos y tres dimensiones, 365 días de historial de vuelos y un puesto en la clasificación frente a todas las demás estaciones de la red. No se cobra nada, no se firma nada, y el mismo receptor puede seguir alimentando cualquier otra red que ya use.

#### Tiempo, dinero, habilidades

**Dinero:** de 150 a 200 euros por el montaje básico, comprado nuevo, de 300 a 420 por el montaje avanzado; menos si ya tiene una Raspberry Pi. **Tiempo:** una tarde una vez que hayan llegado las piezas: unos 30 minutos de montaje, 10 minutos para preparar la tarjeta de memoria, 10 minutos para instalar el feeder. **Habilidades:** enroscar un conector, copiar tres líneas en un terminal. **Coste de funcionamiento:** el receptor consume de 4 a 5 vatios, unos 40 kWh al año, aproximadamente de 10 a 15 euros de electricidad.

#### EN UNA IMAGEN

### Cómo encajan las piezas



La antena es donde ocurre la física de los capítulos 5 a 8: un cuarto de onda de metal, de unos 65 mm de largo, resuena con la onda de 27,5 cm y convierte unas pocas milmillonésimas de vatio en una tensión diminuta. El cable lleva esa tensión hasta el dongle y pierde aproximadamente la mitad cada diez metros si es fino, y por eso la antena debe estar cerca del dongle o el cable debe ser grueso. El filtro y el amplificador son opcionales: refuerzan la señal de 1090 MHz antes de que llegue al dongle y rechazan los transmisores de telefonía móvil y de radio FM que, de otro modo, lo ensordecían. El dongle es una radio definida por software que muestrea la onda dos millones de veces por segundo y entrega los números a la Raspberry Pi, donde el decodificador (readsb, un descendiente de dump1090) encuentra el preámbulo del capítulo 4, lee los 112 bits, comprueba el código de error y descarta todo lo que no lo supera. El feeder de Dataero reenvía después los mensajes decodificados, a través de su conexión a internet, al nodo de ingesta de Dataero, que fusiona su estación con todas las demás en el mapa.

#### LISTA DE LA COMPRA

### Qué comprar, pieza por pieza

La lista siguiente es completa: con estas piezas y nada más estará alimentando el mapa. Existe en dos montajes. El montaje básico deja una antena pequeña en el interior, en una ventana o en el desván, y basta para ver funcionar el sistema y alimentar el mapa desde la primera tarde; el montaje avanzado coloca una antena sintonizada en el exterior, con un amplificador filtrado y un cable de bajas pérdidas, y alcanza el horizonte radioeléctrico. Los precios son orientativos, de productos nuevos, con IVA incluido, y

varían según la tienda y el mes. Los botones Comprar abren cada pieza en la tienda de Amazon del país que elija; las mismas piezas se venden en cualquier tienda de electrónica, y el ordenador en los distribuidores oficiales de Raspberry Pi (el sitio web de Raspberry Pi los enumera por país). Sea cual sea la tienda, compre el dongle vendido para ADS-B, porque el mismo dongle vendido como sintonizador de televisión suele ser una versión más antigua y más ruidosa.

## El ordenador: una Raspberry Pi

Una **Raspberry Pi 4 Model B con 2 GB** de memoria es la elección correcta: decodifica 1090 MHz con una fracción de su potencia, tiene cuatro puertos USB, Ethernet por cable y Wi-Fi, y se vende en kit con caja y fuente de alimentación. Una Raspberry Pi 5 funciona igual de bien y cuesta un poco más; una Raspberry Pi 3B+ sirve si ya tiene una; una Raspberry Pi Zero 2 W funciona, pero va justa de alimentación USB y es mejor evitarla para un primer montaje. Compre la **fuentes de alimentación oficial** de su modelo (un cargador de teléfono flojo es la causa más común de un receptor que se reinicia al azar), una **tarjeta microSD de 16 o 32 GB** de una marca conocida y una **caja** con algo de ventilación, porque tanto el dongle como el procesador se calientan. Añada el juego de pequeños disipadores si el kit no lo incluye. Cuente con 50 a 70 euros por el ordenador, 10 a 15 por la fuente, 10 por la tarjeta y 10 por la caja.

## La radio: un dongle RTL-SDR

El dongle es una radio definida por software construida en torno a un chip RTL2832U y un sintonizador R820T2 o R860, la misma familia que describió el capítulo 9. Compre uno **vendido para ADS-B**. La mejor opción para empezar es un dongle con **filtro y amplificador de 1090 MHz integrados** (el FlightAware Pro Stick Plus es el más conocido; el FlightStick de AirNav es similar): el filtro y el amplificador de bajo ruido que de otro modo compraría por separado van dentro del propio dispositivo, y oye dos o tres veces más lejos que un dongle sencillo en una ciudad. Un dongle de uso general (el RTL-SDR Blog V4, un Nooelec NESDR SMArTee) también funciona y es más versátil si más adelante quiere escuchar otras cosas, pero añada el filtro externo que se describe más abajo si vive a pocos kilómetros de antenas de telefonía móvil. Compre el que compre, compruebe el conector de antena: **SMA** es el estándar y todas las antenas y cables de esta lista lo usan; evite los dongles con el pequeño conector MCX, que necesita un adaptador y se rompe. Cuente con 30 a 45 euros.

## La antena

Empiece con la pequeña antena magnética que viene en la caja del dongle, si la hay: sobre una superficie metálica en una ventana oye aviones a 80 o 150 km y basta para ver funcionar el sistema la primera tarde. El receptor de verdad, sin embargo, necesita una **antena sintonizada a 1090 MHz**, y esta es la pieza en la que no hay que ahorrar: una colineal apilada dentro de un tubo resistente a la intemperie, de 60 a 70 cm de largo, con 4 a 6 dBi de ganancia y un conector N o SMA en la base (la antena de 1090 MHz de FlightAware y la A3 de Jetvision son las opciones habituales, de 50 a 70 euros). Está construida para resonar exactamente a la longitud de onda del capítulo 8 y para concentrar su sensibilidad hacia el horizonte, donde están los aviones lejanos; en el exterior, sobre un mástil corto y con vista despejada, alcanza el horizonte radioeléctrico, de 350 a 450 km para aviones en altitud de crucero. Las antenas caseras hechas con hilo son un experimento de aula, no un receptor: unos pocos milímetros de error las desintonizan y oyen una fracción de lo que oye una antena sintonizada de fábrica.

## Cable y conectores

Si la antena está junto a la Pi, basta con un **cable SMA macho a SMA macho de 1 a 3 m** de un tipo fino y flexible (RG-174 para un metro, RG-58 o H155 para tres). Cuanto más largo el tramo, más grueso debe ser el cable: a 1090 MHz un cable fino pierde unos 3 dB, la mitad de la señal, cada diez metros, mientras que un cable grueso de bajas pérdidas como el LMR-400 o el H1000 pierde unos 1,3 dB. Una antena de tejado a 15 m de la Pi necesita, por tanto, LMR-400 o un amplificador con filtro en la antena, o ambas cosas. Compre el cable hecho a medida con los conectores ya montados (N macho en el extremo de la antena si la antena tiene una toma N, SMA macho en el extremo del dongle), porque montar un conector N a mano requiere una herramienta de crimpado y práctica. Cuente con 10 euros por un cable corto y de 30 a 60 por uno largo de bajas pérdidas. Añada un **cable alargador USB corto**, de 30 a 50 cm, para alejar el dongle de la Pi: un dongle enchufado directamente en la placa capta el ruido de radio del propio procesador y bloquea el puerto vecino.

## Filtro y amplificador (opcionales, pero el alcance más barato que se puede comprar)

Si su dongle no tiene filtro integrado, un **filtro paso banda de 1090 MHz** (de 20 a 25 euros, SMA de entrada y de salida) entre el cable y el dongle elimina las señales de telefonía móvil, FM, televisión y buscapersonas que un dongle sencillo también recibe y que lo saturan cerca de una ciudad. Mejor aún es un **amplificador de bajo ruido con filtro** (unos 35 euros; el RTL-SDR Blog 1090 LNA y el preamplificador de Uputronics son los habituales), montado en el extremo de la antena de un cable largo: amplifica la señal antes de que el cable la pierda, y lo alimenta el dongle a través del propio cable (un *bias tee*, que el dongle debe admitir; el Blog V4, el Pro Stick Plus y el SMATee lo admiten). Un amplificador en el extremo de la Pi de un cable largo es casi inútil, porque amplifica lo que el cable ya ha perdido.

## Herramientas y el resto

Necesita un ordenador con lector de tarjetas SD (o un lector de tarjetas USB, 5 euros) para escribir la tarjeta de memoria, la contraseña del Wi-Fi de su router doméstico o un puerto Ethernet libre y un cable, y, para la antena, un alféizar, una viga del desván o un mástil corto con dos soportes de pared. Para una antena exterior añada cinta autovulcanizante para sellar el conector (3 euros), bridas y unos metros de cable de sobra para un bucle de goteo. Un destornillador pequeño y unas tijeras son las únicas herramientas.

## Montaje básico

Antena pequeña en el interior, en una ventana o en el desván - 50 a 150 km - 150 a 200 EUR

| Pieza                                                                                                                                                                                            | Para qué sirve                                         | Comprar en Amazon                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kit Raspberry Pi 4</b><br>Modelo B con 2 o 4 GB, la fuente de alimentación oficial, una caja ventilada y una tarjeta microSD de 32 o 64 GB, todo en el kit; un kit Raspberry Pi 5 sirve igual | Decodifica los mensajes y ejecuta el feeder de Dataero | <a href="https://radar.dataero.eu/go/pi">https://radar.dataero.eu/go/pi</a> |

| Pieza                                                                                                                                                                                                   | Para qué sirve                                                                                                       | Comprar en Amazon                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Dongle AirNav Radar FlightStick</b><br>Radio definida por software USB con filtro y amplificador de 1090 MHz integrados, conector SMA; el FlightAware Pro Stick Plus, mientras quede, es equivalente | Convierte la onda de radio en números; el filtro y el amplificador integrados son lo que le da alcance en una ciudad | <a href="https://radar.dataero.eu/go/sdr">https://radar.dataero.eu/go/sdr</a>                       |
| <b>Cable alargador USB, de 30 a 50 cm</b><br>USB 2.0, A macho a A hembra                                                                                                                                | Aleja el dongle del ruido de radio del propio procesador y libera el puerto vecino                                   | <a href="https://radar.dataero.eu/go/usb-ext">https://radar.dataero.eu/go/usb-ext</a>               |
| <b>Antena pequeña de 1090 MHz con base magnética</b><br>Sintonizada para ADS-B, con su propio cable y conector SMA macho                                                                                | Capta la onda en una ventana; sobre una superficie metálica oye aviones a 50 a 150 km                                | <a href="https://radar.dataero.eu/go/antenna-indoor">https://radar.dataero.eu/go/antenna-indoor</a> |

## Montaje avanzado Antena exterior en un mástil corto, para largo alcance - 250 a 400 km - 300 a 420 EUR

| Pieza                                                                                                                                                                                                   | Para qué sirve                                                                                                                               | Comprar en Amazon                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kit Raspberry Pi 4</b><br>Modelo B con 2 o 4 GB, la fuente de alimentación oficial, una caja ventilada y una tarjeta microSD de 32 o 64 GB, todo en el kit; un kit Raspberry Pi 5 sirve igual        | Decodifica los mensajes y ejecuta el feeder de Dataero                                                                                       | <a href="https://radar.dataero.eu/go/pi">https://radar.dataero.eu/go/pi</a>                           |
| <b>Dongle AirNav Radar FlightStick</b><br>Radio definida por software USB con filtro y amplificador de 1090 MHz integrados, conector SMA; el FlightAware Pro Stick Plus, mientras quede, es equivalente | Convierte la onda de radio en números; el filtro y el amplificador integrados son lo que le da alcance en una ciudad                         | <a href="https://radar.dataero.eu/go/sdr">https://radar.dataero.eu/go/sdr</a>                         |
| <b>Cable alargador USB, de 30 a 50 cm</b><br>USB 2.0, A macho a A hembra                                                                                                                                | Aleja el dongle del ruido de radio del propio procesador y libera el puerto vecino                                                           | <a href="https://radar.dataero.eu/go/usb-ext">https://radar.dataero.eu/go/usb-ext</a>                 |
| <b>Antena exterior FlightAware de 1090 MHz</b><br>Colineal en un tubo resistente a la intemperie, 66 cm, conector N hembra; la A3 de Jetvision es la alternativa                                        | Construida para resonar exactamente a 27,5 cm y mirar al horizonte: en el exterior, con vista despejada, alcanza el horizonte radioeléctrico | <a href="https://radar.dataero.eu/go/antenna-outdoor">https://radar.dataero.eu/go/antenna-outdoor</a> |

| Pieza                                                                                                                                                                   | Para qué sirve                                                                      | Comprar en Amazon                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Amplificador filtrado de 1090 MHz</b><br>LNA ADS-B de RTL-SDR Blog,<br>Nooelec SAWbird+ ADS-B o<br>preamplificador Uputronics,<br>alimentado por el cable (bias tee) | Montado en la antena, refuerza la señal antes de que el cable la pierda             | <a href="https://radar.dataero.eu/go/lna">https://radar.dataero.eu/go/lna</a>         |
| <b>Adaptador N macho a SMA macho</b><br>Entre el conector N de la antena y el conector SMA del amplificador                                                             | Une la antena al amplificador                                                       | <a href="https://radar.dataero.eu/go/adapter">https://radar.dataero.eu/go/adapter</a> |
| <b>Cable coaxial de bajas pérdidas, 10 m</b><br>LMR-400 o H1000, SMA macho en ambos extremos, a medida y con los conectores montados                                    | Lleva la señal del tejado al dongle y pierde solo alrededor de 1,3 dB por cada 10 m | <a href="https://radar.dataero.eu/go/coax">https://radar.dataero.eu/go/coax</a>       |
| <b>Mástil corto con soportes de pared</b><br>Alrededor de 1 m de largo, de 30 a 40 mm de diámetro, con dos soportes                                                     | Eleva la antena por encima de la línea del tejado, lejos de muros y chimeneas       | <a href="https://radar.dataero.eu/go/mount">https://radar.dataero.eu/go/mount</a>     |
| <b>Cinta autovulcanizante</b><br>Un rollo                                                                                                                               | Sella cada conector exterior contra la lluvia                                       | <a href="https://radar.dataero.eu/go/tape">https://radar.dataero.eu/go/tape</a>       |

Como Afiliado de Amazon, Dataero Europe obtiene ingresos por las compras adscritas que cumplen los requisitos aplicables realizadas a través de estos enlaces, sin coste adicional para usted. Los precios, el stock y la entrega son los que muestra Amazon; las mismas piezas pueden comprarse en cualquier tienda de electrónica.

### Qué no comprar

Un stick de televisión de 10 euros con un chip sin nombre y un conector MCX (funciona una semana, deriva, se sobrecalienta y pierde los mensajes débiles); una discono 'de banda ancha' o una antena de radio de coche (no resuenan a 1090 MHz; el capítulo 8 explica por qué importa la longitud); una antena Wi-Fi o 4G con un conector de aspecto correcto (frecuencia equivocada); un cable largo con conectores para crimpar uno mismo; un cargador de teléfono como fuente de alimentación; una Raspberry Pi usada de origen desconocido con una tarjeta ya puesta.

## DÓNDE VA

### Colocar la antena: altura, cielo y cable

La colocación vale más que el precio. La fórmula del horizonte radioeléctrico del capítulo 7,  $d = 4,12 \times (\sqrt{h \text{ avión}} + \sqrt{h \text{ antena}})$  con las alturas en metros, dice que una antena a 2 m en un alféizar ve un avión de línea a 11 000 m hasta a 438 km, y la misma antena en un tejado de 20 m solo 13 km más lejos. La altura importa mucho menos que lo que hay **en medio**: una pared, una colina, un tejado metálico o un edificio vecino bloquean por completo la línea de visión, y una ventana que da al lado contrario de la

aerovía oye la mitad del cielo. Así que la primera pregunta no es 'a qué altura' sino 'qué puede ver la antena', y la respuesta debería ser: tanto cielo como sea posible, hasta el horizonte, en tantas direcciones como sea posible.

**En una ventana**, ponga la antena en la cara exterior del cristal si puede (en la barandilla de un balcón, sujeta por su imán a una placa de acero), y si no, en el alféizar interior pegada al cristal; el doble acristalamiento moderno con recubrimiento metálico debilita la señal de forma apreciable, y una ventana que se abre deja salir el cable. Elija la ventana que mira al aeropuerto más cercano o a la aerovía más transitada; el mapa en vivo le dice cuál. **En un desván**, un tejado de tejas o de pizarra es casi transparente a 1090 MHz y la antena ve en todas las direcciones; un tejado metálico o un aislamiento con lámina de aluminio es opaco. Cuelgue la antena de una viga, tan alta como permita la cumbre, lejos de depósitos de agua y de cableado. **En un tejado**, un mástil de un metro por encima de la cumbre sobre dos soportes de pared supera la chimenea y a los vecinos; es la colocación que alcanza el horizonte radioeléctrico, y la que necesita un cable grueso o un amplificador en la antena.

| Cable                                       | Pérdida por cada 10 m a 1090 MHz | Señal restante tras 10 m | Uso                           |
|---------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| RG-174 (2,8 mm)                             | unos 7 dB                        | 20 %                     | interior, menos de 1 m        |
| RG-58 (5 mm)                                | unos 5 dB                        | 30 %                     | interior, de 1 a 3 m          |
| H155 / LMR-200 (5,5 mm)                     | unos 3 dB                        | 50 %                     | hasta 5 m                     |
| LMR-400 o H1000 (10 mm)                     | unos 1,3 dB                      | 75 %                     | tramos de tejado de 10 a 20 m |
| amplificador en la antena + cualquier cable | pérdida pagada antes del cable   | casi toda                | cualquier tramo largo         |

### Seguridad

Nunca coloque una antena donde pueda tocar una línea eléctrica aérea o caer sobre ella; manténgala por debajo del punto más alto del tejado si el edificio tiene pararrayos, y en caso contrario acepte que una pequeña antena de plástico sobre un mástil de 1 m no atrae los rayos más que la chimenea, pero desenchufe el dongle durante una tormenta. El trabajo en el tejado es para un adulto, de día y con alguien sujetando la escalera; un desván o una ventana dan el 80 % del resultado sin ninguno de los riesgos. Selle todos los conectores exteriores con cinta autovulcanizante y deje un bucle en el cable por debajo del punto de entrada para que la lluvia gotee en lugar de colarse dentro. El receptor solo escucha: aquí nada radia.

## PASO 1

### Montar el hardware

El montaje consiste en enroscar conectores; lo único que hay que hacer bien es apretar cada uno a mano hasta que deje de girar, sin herramientas, y evitar doblar el cable bruscamente a menos de un palmo de un conector.

1. Coloque los disipadores en la Pi si el kit los trae, meta la Pi en su caja y deje la tapa quitada por ahora.

2. Enrosque el cable de antena en la antena (N o SMA, apretado a mano) y, si usa un filtro o un amplificador separado, enrósquelo en el extremo del cable que va al dongle: antena, cable, filtro o amplificador, dongle, en ese orden. Un amplificador en la antena va, en cambio, entre la antena y el cable.
3. Enrosque el cable en la toma SMA del dongle. Enchufe el dongle en el cable alargador USB y el alargador en uno de los puertos USB 3 azules de la Pi (cualquier puerto sirve; los azules son los más alejados de la antena Wi-Fi).
4. Coloque la antena donde decidió más arriba y guíe el cable con curvas suaves. Ponga el dongle en algún sitio donde le llegue aire; se nota caliente al tacto, lo cual es normal.
5. Conecte el cable Ethernet al router si lo usa. No enchufe todavía la alimentación: primero va la tarjeta de memoria.

## PASO 2

### Preparar la Raspberry Pi

La Pi necesita un sistema operativo en su tarjeta de memoria y una forma de que usted le escriba órdenes desde su propio ordenador. Ambas cosas llevan diez minutos y se hacen con unos clics en un solo programa, **Raspberry Pi Imager**, que se descarga gratis del sitio web de Raspberry Pi para Windows, macOS o Linux.

1. Ponga la tarjeta microSD en su ordenador. Abra Raspberry Pi Imager. En 'Raspberry Pi Device' elija su modelo; en 'Operating System' elija **Raspberry Pi OS (other)** y después **Raspberry Pi OS Lite (64-bit)**, la versión sin escritorio, porque el receptor nunca tiene pantalla; en 'Storage' elija la tarjeta.
2. Haga clic en Next y, cuando Imager ofrezca aplicar ajustes de personalización del sistema, haga clic en **Edit settings**. En la pestaña General ponga como nombre de host **adsb** (para que la Pi responda a adsb.local), marque 'Set username and password' y elija ambos (anótelos), e introduzca el nombre y la contraseña de su Wi-Fi junto con su país, salvo que use un cable Ethernet; ajuste su zona horaria. En la pestaña Services marque **Enable SSH** con autenticación por contraseña. Guarde, confirme después que la tarjeta se va a borrar y deje que Imager la escriba y la verifique.
3. Ponga la tarjeta en la Pi, enchufe la fuente de alimentación y espere dos minutos: la luz verde parpadea mientras arranca, y el primer arranque es más lento.
4. En su ordenador abra un terminal: en Windows, PowerShell (búsquelo en el menú Inicio); en un Mac, Terminal; en Linux, cualquier terminal. Escriba la orden de abajo con el nombre de usuario que eligió, pulse Intro, responda **yes** a la pregunta sobre la huella digital, escriba después su contraseña (no se muestra nada mientras la teclea) y pulse Intro. El símbolo del sistema cambia al de la Pi: ahora está escribiendo en el receptor.

```
ssh <username>@adsb.local
```

Si no se encuentra *adsb.local*, su router no propaga los nombres locales: abra su página web, busque la lista de dispositivos conectados, anote la dirección IP de la Pi (algo como 192.168.1.42) y úsela en lugar del nombre. Una vez conectado, actualice el sistema e instale git, la herramienta que descarga el feeder; copie la línea, péguela, pulse Intro y espere. La actualización puede tardar diez minutos la primera vez.

```
sudo apt update && sudo apt full-upgrade -y && sudo apt install -y git
```

### PASO 3

## Instalar el feeder de Dataero

El feeder de Dataero es un pequeño programa de código abierto publicado por Dataero en GitHub ([github.com/dataero-adsb/dataero-adsb-feeder](https://github.com/dataero-adsb/dataero-adsb-feeder)). Su instalador hace todo lo que necesita un receptor: instala el decodificador (readsb) si la Pi no tiene uno, registra su receptor en Dataero, genera su ID de receptor único, configura los servicios que reenvían los mensajes y mantienen viva la conexión, y comprueba al final que Dataero le oye. Puede leer cada una de sus líneas en GitHub antes de ejecutarlo. Tres órdenes, escritas en la Pi, una tras otra:

```
git clone https://github.com/dataero-adsb/dataero-adsb-feeder
cd dataero-adsb-feeder
sudo bash installer.sh
```

El instalador hace unas pocas preguntas. Esto es lo que significa cada una y qué responder.

| El instalador pregunta                                       | Qué significa                                                                                                                                                | Qué responder                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Do you want to automatically install readsb? (yes/no)</b> | No se ha encontrado ningún decodificador en esta Pi; readsb es el programa que convierte las muestras del dongle en mensajes.                                | Escriba yes, completo. Cualquier otra respuesta detiene el instalador. La descarga y la compilación tardan unos minutos.                                                     |
| <b>Station name (optional)</b>                               | El nombre que se muestra junto a su receptor en el mapa y en la clasificación.                                                                               | Un nombre corto: su localidad y una palabra, el nombre de una escuela. Puede cambiarse más tarde volviendo a ejecutar el instalador.                                         |
| <b>Enable MLAT for this receiver? (y/N)</b>                  | Multilateración (capítulo 10): la sincronización de su receptor ayuda a localizar aviones que no envían posición. Necesita la posición exacta de la antenna. | n para una primera instalación, o y si puede dar la posición de la antenna con una precisión de pocos metros.                                                                |
| <b>Latitude, Longitude, Antenna altitude (metres)</b>        | Dónde está la antenna. Obligatorio con MLAT, opcional en caso contrario; se usa para su mapa de cobertura y sus estadísticas de alcance.                     | Grados decimales con punto (50.8467, 4.3525), altitud sobre el nivel del mar en metros: la elevación del terreno en su dirección más la altura de la antenna sobre el suelo. |

Para hallar la posición, abra cualquier mapa en línea, haga clic con el botón derecho en el punto exacto de la antenna y copie las coordenadas; la mayoría de los mapas muestran seis decimales, lo que es una precisión de una décima de metro. La elevación del terreno está en un mapa topográfico o en el campo 'elevación' de una aplicación GPS; añada la altura de la antenna sobre el suelo (una ventana de segundo piso está a unos 6 m, la cumbrera de una casa de dos plantas a unos 9 m). La altitud que da el propio teléfono suele estar equivocada en diez o veinte metros, así que use el mapa para el terreno y una cinta métrica para el resto. No active el MLAT con una posición adivinada: un receptor cuya sincronización dice 'estoy aquí' desde otro sitio degrada todas las soluciones en las que participa.

El instalador trabaja después unos minutos y termina con un rótulo que empieza por **Installation complete**. Imprime su **ID de receptor**, un código largo de letras y cifras (un UUID), el nodo de Dataero al que está conectada su estación y el resultado de un primer contacto con Dataero: cuando el registro acepta el latido del receptor, su estación está en vivo. El ID de receptor es la llave de su estación: viaja con cada mensaje y es lo que pegará en su cuenta para reclamarla. Guárdese para usted, porque la primera cuenta que lo vincula se queda con el receptor. Si alguna vez lo pierde, está almacenado en la Pi:

```
sudo grep RECEIVER_UUID /usr/local/dataero-adsb-feeder/.env
```

#### Qué deja en marcha el instalador

Tres pequeños servicios que arrancan solos en cada inicio: *readsb*, el decodificador, que además sirve un mapa local; *dataero-readsb*, una segunda instancia del decodificador, solo de red, que reenvía un flujo reducido de sus mensajes al nodo de Dataero; y *dataero-feeder*, el latido que le dice a Dataero que su estación está viva. Con MLAT activado, un cuarto, *dataero-mlat*. Volver a ejecutar el instalador más adelante conserva su ID de receptor, su nombre y su posición y solo actualiza lo que haya cambiado.

#### PASO 4

### Entrar en vivo y reclamar su receptor

Un minuto después del rótulo deberían aparecer los primeros aviones. Mire en tres sitios. En la propia Pi, la orden de abajo imprime una tabla en vivo de cada avión que se está decodificando, con su dirección, su indicativo, su altitud, su velocidad y la intensidad de señal en dBFS; pulse **q** para salir. El instalador de *readsb* también configuró un mapa local en la Pi, **<http://adsb.local/tar1090>** (o la dirección IP en lugar del nombre), que muestra la vista del cielo de su propia estación con anillos de distancia. Y en **[radar.dataero.eu](http://radar.dataero.eu)**, el mapa público, los aviones que oye su estación se dibujan junto con los de todos los demás en cuestión de segundos.

```
viewadsb
```

Su receptor ya está alimentando el mapa, de forma anónima. **Reclamarlo** lo asocia a su cuenta y desbloquea la parte del sitio reservada a los feeders: abra [radar.dataero.eu](http://radar.dataero.eu), cree una cuenta gratuita o inicie sesión, abra **Receptores** en el menú de la cuenta, elija **Vincular un receptor** y pegue el ID de receptor que imprimió el instalador. Use el ID de receptor de Dataero, no un UUID de otro programa feeder si ejecuta alguno. Desde ese momento su estación tiene un nombre en el mapa, un **panel** (aviones vistos, mensajes por segundo, las horas de más actividad, los aviones más raros), un **mapa de cobertura** dibujado a partir de la intensidad de señal de cada mensaje, en dos y tres dimensiones, **365 días de historial de vuelos** en lugar de ninguno como visitante, y un puesto en la **clasificación**. Todo lo recogido antes de reclamarlo ya está ahí.

Qué esperar la primera tarde: en una ventana con la antena de la caja, de 20 a 60 aviones a la vez en una zona transitada de Europa, hasta 100 o 150 km, con un hueco en el lado del edificio; con una antena sintonizada en un desván, de 100 a 200 aviones hasta 250 km; en un tejado, de 200 a 400 aviones y un alcance que roza los 400 km en las direcciones en las que no hay nada en medio. El contador de

mensajes del panel es una medida mejor que el alcance: una buena estación decodifica de 500 a 1 500 mensajes por segundo en una hora punta diurna europea y unas pocas decenas de madrugada. La curva a lo largo de un día es la lección 4 del curso hecha visible: los aviones no vuelan de noche porque la gente no lo hace.

**Abrir el mapa en vivo** <https://radar.dataero.eu/es/map>

**Crear una cuenta y reclamar** <https://radar.dataero.eu/es/contribute>

## PASO 5

### Ajustar, y entender lo que ve

Dos ajustes deciden la mayor parte del rendimiento de una estación, y ambos se cambian en un segundo en la Pi. El primero es la **ganancia**, cuánto amplifica el dongle antes de digitalizar. readsb arranca con ganancia automática, que es un compromiso razonable. Si los aviones que pasan por encima desaparecen mientras los lejanos permanecen, el receptor está saturado por las señales fuertes cercanas y la ganancia es demasiado alta; si los aviones lejanos nunca aparecen, es demasiado baja. La orden de abajo fija una ganancia en dB; pruebe valores entre 30 y 49 (49,6 es el máximo del dongle) y observe durante diez minutos con cada uno el número de aviones y el alcance máximo en el mapa local. Con un dongle que tiene su propio amplificador, de 40 a 45 suele ser lo mejor en una ventana, y menos en un tejado. Escribir un valor de -10 vuelve al modo automático.

```
sudo readsb-gain 43
```

El segundo es la **ubicación del mapa local**, que readsb usa para dibujar sus anillos de distancia y calcular la distancia de cada avión; es independiente de la posición que dio al instalador de Dataero (que es la que usa Dataero) y se fija con la segunda orden. Abra después el mapa local y observe cómo crece a lo largo de un día el contorno de los aviones más lejanos: ese contorno es su horizonte radioeléctrico, y su forma es la forma de sus obstáculos.

```
sudo readsb-set-location 50.8467 4.3525
```

La columna de señal de *viewadsb* es la ley del inverso del cuadrado del capítulo 6 en números. Un avión que pasa por encima a 10 km registra en torno a -5 dBFS; el mismo avión a 300 km, treinta veces más lejos, llega novecientos veces más débil, unos -30 dBFS, y el decodificador sigue leyéndolo porque el mensaje solo necesita ser más fuerte que el ruido. Observe cómo sube y baja la señal de un avión mientras cruza su cielo y habrá medido la ley sin una fórmula. La columna de mensajes descartados, cuando es alta, dice lo contrario: las señales fuertes de dos aviones que llegan en el mismo instante se mezclan entre sí, que es el límite que describe el capítulo 11 y la razón por la que un segundo receptor a treinta kilómetros ve mensajes que usted pierde.

Si activó el **MLAT**, los aviones posicionados por multilateración aparecen en el mapa de Dataero y vuelven a su mapa local con un marcador distinto. Son los aviones que no envían posición propia: reactores de negocios antiguos, transportes militares, algunos helicópteros. Su contribución a cada uno es una marca de tiempo con una precisión de unos pocos nanosegundos, a partir de la cual el nodo

resuelve las hipérbolas del capítulo 10 con otras tres estaciones. Un error de solo 30 m en la posición de la antena desplaza su sincronización una décima de microsegundo, suficiente para situar un avión resuelto a un kilómetro de donde está, y por eso el instalador insiste.

## CUANDO NO FUNCIONA

### Resolución de problemas

Casi todos los problemas son uno de los de la tabla de abajo, y cada uno tiene una comprobación de una línea. Las órdenes se ejecutan en la Pi, por la misma conexión de terminal que la instalación.

| Síntoma                                                        | Causa más probable                                                                                              | Qué hacer                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ssh no encuentra adsb.local</b>                             | El router no resuelve los nombres locales, o la Pi no está en la red.                                           | Use la dirección IP de la lista de dispositivos del router. Si la Pi no aparece, compruebe los datos del Wi-Fi que escribió en Imager, o use un cable Ethernet.                       |
| <b>readsb no arranca; 'no device found'</b>                    | No se ve el dongle: cable USB suelto, fuente de alimentación demasiado débil, o un dongle que no es un RTL-SDR. | Vuelva a enchufar el dongle y el alargador; ejecute lsusb y busque 'RTL2838' o 'Realtek'; cambie la fuente de alimentación por la oficial.                                            |
| <b>readsb funciona pero no muestra aviones</b>                 | La antena no está conectada, el cable tiene un conector abierto, o la antena está en una sombra de radio.       | Compruebe que todos los conectores están apretados; mueva la antena a una ventana con cielo despejado; un dongle sencillo sin filtro en una ciudad puede necesitar uno.               |
| <b>Los aviones cercanos desaparecen, los lejanos se quedan</b> | Saturación: ganancia demasiado alta, o un transmisor potente cerca.                                             | Baje la ganancia (readsb-gain 35), añada un filtro de 1090 MHz.                                                                                                                       |
| <b>Aviones en el mapa local pero no en radar.dataero.eu</b>    | Los servicios del feeder no están en marcha o la Pi no tiene internet.                                          | Ejecute la orden de estado de abajo; un servicio que aparece como 'failed' le dice por qué en su registro. Vuelva a ejecutar el instalador: repara la configuración y conserva su ID. |
| <b>La Pi se reinicia o el dongle desaparece al azar</b>        | Alimentación. El dongle consume un tercio de amperio; una fuente débil hace caer la tensión.                    | Use la fuente de alimentación oficial; retire otros dispositivos USB; compruebe que la luz roja de alimentación se mantiene fija.                                                     |
| <b>'Receiver not found' al reclamar</b>                        | Se pegó un UUID distinto (de otro programa feeder, o una errata).                                               | Pegue el valor que imprime la orden grep del paso 3; ese es el ID de receptor de Dataero.                                                                                             |

```
sudo systemctl status readsb dataero-readsb dataero-feeder
sudo journalctl -u dataero-feeder -n 50
```

Si nada de esto ayuda, abra una incidencia en la página de GitHub del feeder con la salida de esas dos órdenes: las personas que escribieron el instalador las leen. Dataero también tiene un canal comunitario enlazado desde la página Hazte feeder, donde otros feeders responden a la mayoría de las preguntas en cuestión de horas.

## DESPUÉS

## Mantenerlo en marcha

Un receptor no necesita casi nada. Los servicios arrancan solos tras un corte de luz; la Pi no tiene piezas móviles; el dongle dura años. Una vez por temporada, conéctese a la Pi y vuelva a ejecutar la línea de actualización del paso 2, y después ejecute de nuevo el instalador desde la carpeta en la que se descargó (`cd dataero-adsb-feeder` y luego `sudo bash installer.sh`): descarga el feeder actual, conserva su ID de receptor, su nombre y su posición, y hace las mismas preguntas con sus respuestas anteriores como valores por defecto. Si mueve la antena, vuelva a ejecutar el instalador y dé la nueva posición; si se muda de casa, haga lo mismo y nada más cambia. Si alguna vez quiere parar, la misma carpeta contiene un desinstalador.

Dos hábitos mantienen sana una estación. Mire el panel una vez a la semana: una tasa de mensajes que se reduce a la mitad de un día para otro significa que un cable se ha aflojado o que un árbol ha crecido. Y anote, el primer día, tres números del mapa local: el alcance máximo en cada dirección, el número de aviones en la hora punta de la tarde y la tasa de mensajes. Son su línea de base, y cada cambio que haga después, una antena mejor, un mástil más alto, un filtro, se mide contra ellos. Esa medición es la ciencia a la que conducía el curso.

## PARA UNA CLASE O UNA FAMILIA

## Convertir el receptor en un proyecto

El receptor es un instrumento permanente, y su mejor uso es una serie de mediciones que ponen a prueba, cada una, una idea del curso. Para una familia, una de ellas llena un domingo; para una clase, cada una es una lección, y los datos que la estación recoge entre lecciones son los deberes. La gráfica horaria del panel, el mapa de cobertura y el contorno de alcance del mapa local son los instrumentos; las lecciones dan las predicciones; las mediciones deciden.

1. **Altura frente a alcance** (capítulo 7). Anote el alcance máximo con la antena sobre una mesa, en una ventana del primer piso, en una ventana del último piso, en el desván. Represente el alcance frente a la altura y compárelo con la fórmula del horizonte radioeléctrico; la diferencia son los obstáculos.
2. **La ley del inverso del cuadrado** (capítulo 6). Siga un avión a través del cielo en `viewadsb` y registre la señal frente a la distancia cada minuto; represente la señal en dB frente al logaritmo de la distancia; la pendiente debería ser cercana a -20 dB por década.
3. **El ritmo diario** (lección 4). Lea la tasa de mensajes cada hora durante una semana en el panel. Explique la forma: la oleada de la mañana, el pico de la tarde, el toque de queda nocturno del aeropuerto más cercano, la diferencia entre un día laborable y un domingo.
4. **Dónde termina el cielo**. Calque el contorno de alcance del mapa local tras una semana y superpóngalo a un mapa de la zona. Cada muesca es un edificio, una colina o un árbol; póngales nombre.
5. **El mapa es tan bueno como sus oyentes** (capítulo 11). Compare el mapa de cobertura de su estación con el mapa público una tarde: los aviones que usted no oye los oye otra persona. Busque la estación más cercana en la clasificación y calcule, con la fórmula, dónde se solapan sus círculos.

En una escuela, el receptor también responde a la pregunta que hace todas las clases, '¿qué avión es ese?', con una pantalla en el pasillo que muestra el mapa local. La lista de 'aviones más raros' del panel es una sorpresa mensual: un transporte gubernamental, un avión de línea histórico, una ambulancia aérea, cada uno una historia sobre por qué está ahí. Y una estación escolar que alimenta Dataero aparece en el mapa público con el nombre de la escuela como fuente, que es una fama mejor que la mayoría.

## BIENVENIDO

### Qué obtienen los feeders, y qué obtiene el mapa de usted

Un visitante de radar.dataero.eu ve un mapa en vivo, un número limitado de aviones y unos pocos campos por avión, en sesiones de visualización de diez minutos cada vez. Una cuenta gratuita elimina el límite de sesión, muestra todos los campos y conserva siete días de historial de vuelos. Un feeder, que es lo que usted es ahora, obtiene el sitio completo: 365 días de historial de cada vuelo, el panel, el mapa de cobertura en dos y tres dimensiones, la clasificación y una estación acreditada en el mapa. Nada de esto cuesta nada, ni ahora ni después, y el receptor sigue alimentando cualquier otra red que decida añadir.

Lo que el mapa obtiene de usted es lo que no se compra con dinero: un oyente donde no había ninguno. Cada receptor de la red oye un círculo de cielo, y un continente solo está cubierto donde esos círculos se solapan. Una estación nueva en un hueco, un pueblo, una costa, un valle, un país con pocos feeders, hace aparecer aviones que nadie oía y hace posible la multilateración para los que no envían posición. Mire esta noche la cobertura de su región en el mapa, y vuelva a mirarla una semana después de que su estación esté en vivo: la diferencia es suya.

**Hazte feeder** <https://radar.dataero.eu/es/contribute>

**Abrir el mapa en vivo** <https://radar.dataero.eu/es/map>

**Volver al inicio del curso** <https://radar.dataero.eu/es/learning>