

## PALOMAS MENSAJERAS CON GPS

***Poner un GPS sobre una pequeña ave requiere tecnología sofisticada y perseverancia. Para entender mejor como las mensajeras navegan, investigadores han desarrollado un registrador de vuelo GPS lo suficientemente pequeño para alojarlo entre las alas de una paloma***



Cuando el vencedor en el acontecimiento del decatlón de los primeros juegos Olímpicos (776 A.C.) en La Grecia antigua estaba sobre el pódium de campeones, una ráfaga de alas irrumpían en el cielo. Palomas mensajeras desde el estadio Olímpico, llevaban el mensaje de los juegos a las aldeas de todo alrededor de Grecia, incluyendo la aldea del atleta victorioso.

Las noticias de victorias y de acontecimientos en las Olimpiadas del 2000 en Sydney, Australia, viajaron por el mundo mucho más rápidamente, a través de redes de comunicaciones modernas. A pesar del hecho de que no dependemos de las palomas mensajeras para la comunicación, su capacidad natural de volar a casa desde lugares donde nunca han estado continúa fascinando tanto a aficionados, como a biólogos. Nosotros todavía sólo entendemos parte del mecanismo de la navegación usado por estas aves.

Las palomas mensajeras navegan para encontrar su destino usando una combinación de mapas y mecanismos de compás. Para determinar su hogar en relación con su posición, las palomas utilizan un mapa de factores físicos que pueden incluir el olor, la intensidad del campo magnético, el infrasonido, la luz polarizada, y posiblemente las señales del terreno. Los factores físicos se cree que forman una cuadrícula de coordenadas. Las palomas mensajeras aprenden los valores de su palomar y después los comparan a los valores que encuentran en sus viajes o en los vuelos experimentales. Aunque la naturaleza de los factores físicos que forman el mapa sigue siendo confusa, varios de estos factores se utilizan probablemente juntos y forman un sistema redundante.

Durante la última década, los investigadores han encontrado que las palomas también utilizan dos tipos de compases para la navegación: un compás solar y un compás de la inclinación magnética. Las palomas confían en los compases para localizar la ruta hacia su hogar en referencia a su dirección del vuelo. El azimut solar (posición con respecto a la horizontal) y la intensidad del campo magnético funcionan como compás solar y compás de inclinación magnética. Las palomas usan un reloj interno, para poder compensar los cambios de posición del sol con respecto a la horizontal durante el día y dirigirse a casa.

Tradicionalmente, los observadores estudian el comportamiento de la orientación de las palomas observándolos con prismáticos y determinando la dirección en la cual desaparecen, también conocida como la ruta de desaparición. Con este método, solamente las primeras millas de la trayectoria de vuelo de una paloma pueden ser observadas, y aunque los biólogos establecieron la existencia de los dos compases, hemos obtenido poca información en la naturaleza del mapa.

El registro de la trayectoria de vuelo completa de una paloma desde el lugar de suelta hasta su palomar y correlacionar los datos con la estructura topográfica y otros posibles factores del área en su navegación nos ayudaría mejor a entender cómo las palomas navegan a casa sobre tales distancias. Sólo entonces sería posible contestar a preguntas como por ejemplo, ¿en qué punto de su vuelo hacen desviaciones iniciales correctas para averiguar la dirección a casa? ¿Y, qué factores utilizan para determinar dónde están, comparando a donde necesitan ir? La tecnología del GPS ofrece una ma-

nera de seguir las trayectorias de vuelo de la paloma y de recopilar la información necesitada para contestar a estas preguntas.

Como miembro del Instituto de Zoología en la Universidad de Frankfurt trabajando con el profesor Wolfgang Wiltschko, comencé en 1995 a diseñar un registrador de vuelo GPS para las palomas mensajeras. Un año más tarde, Eckhard Rüter de Rüter EPV Systeme GmbH, una compañía que desarrolla sistemas de comprobación electrónica para las palomas mensajeras, entró en el proyecto. Cuando comenzamos, todo lo que teníamos era un sueño y una visión, y muchos obstáculos que superar. Encontrar el sistema técnico correcto para satisfacer nuestros requisitos y fabricar un GPS lo bastante pequeño para caber en los cuerpos ligeros de las palomas parecía un objetivo inalcanzable en 1995. Sin embargo, en los años de intervención, con nuestros esfuerzos en el diseño, ayudados por avances en electrónica del GPS, han hecho nuestra visión una realidad. Hoy estamos siguiendo a las palomas mensajeras con GPS, y nuestros datos prometen agregar mucho a nuestro conocimiento sobre cómo estas aves navegan.

### ¿Por qué elegimos el GPS?

Comenzamos nuestro trabajo investigando las tecnologías tradicionales de la navegación usadas para medir y registrar las trayectorias de vuelo. Consideramos la navegación de inercia; LORAN-C; un sistema basado en los satélites del receptor Doppler de medida llamado ARGOS; el seguimiento convencional por radio; siguiendo las palomas en un aeroplano; y un registrador de la ruta que contiene un potente compás magnético que medía la dirección del vuelo. No obstante, ninguno de estos métodos resolvió nuestras necesidades. Ofrecieron, en cambio, resultados de baja precisión, de gama limitada, con alto coste, y que el potencial del equipo podría influir al método de navegación de las palomas.

Comparando las alternativas, el GPS proporcionó varias ventajas, incluyendo disponibilidad mundial, resultados de alta precisión, una opción de escoger el índice de muestreo, y la gama ilimitada. Comparando las tecnologías disponibles, decidimos intentar desarrollar nuestro propio receptor GPS capaz de ajustarse entre las alas de una paloma.

### Únicos requisitos

Para construir un registrador de vuelo que resolviera los requisitos para una paloma mensajera, necesitamos tomar varios factores en consideración.

**Peso:** Las palomas mensajeras pesan 300-500 gramos. Para volar libremente, las aves no deben ser cargadas con más del 10 por ciento de su peso corporal. De hecho, muchos investigadores de aves dicen que la



**Observadores, usando el método tradicional de seguimiento de palomas, utilizando binoculares para ver las aves y determinar sus ruta de desaparición**

cantidad ideal debe estar más cercana al cinco por ciento. Queríamos que los registradores fueran tan ligeros como fuera posible para permitir que las aves se comporten normalmente en sus vuelos hacia casa.

**Fricción:** Una mochila disturba el flujo aerodinámico alrededor de un ave y crea así una fricción adicional, haciendo el vuelo más difícil. Nuestra unidad GPS tendría que tener un diseño compacto y un perfil bajo.

**Toma de muestreos:** La velocidad media del vuelo de la paloma es 70 kilómetros por hora. A esa velocidad, la toma de muestras de un valor por minuto proporcionaría puntos de referencias cada kilómetro, adecuado para muchos usos pero demasiado lejos para nuestras necesidades. La toma de datos de la posición cada 1-5 segundos sería ideal.

**Tiempo de operación:** Los experimentos de orientación con palomas se realizan generalmente dentro de un radio de acción de 10-200 kilómetros, con las aves volviendo a casa entre tres y 24 horas después de la suelta. La batería de nuestro dispositivo tendría que durar por lo menos varias horas, y ser extremadamente ligera.

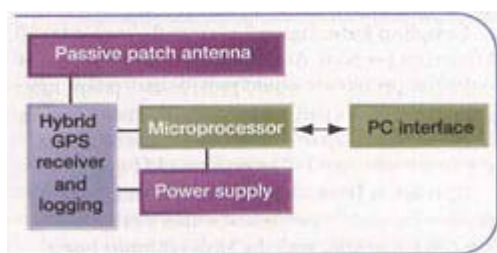
**Otros factores:** Nuestro dispositivo tendría que ser construido de una manera tal que el campo magnético circundante afectara lo menos posible las capacidades de navegación de las palomas. Y, por supuesto, el coste necesitaría ser bastante bajo para permitir que construyamos bastantes dispositivos para seguir una gran cantidad de palomas.

**En resumen:** Con estos apremios en mente, precisamos diseñar un registrador de vuelo con las especificaciones siguientes: capacidad de registrar la posición con una exactitud de 100-300 metros; tamaño total no más grande de 70 x 40 x 30 milímetros; peso no mayor que 30 gramos incluyendo la antena y la fuente de alimentación; un muestreo entre 5 segundos y 5 minutos; un tiempo de autonomía de 3-12 horas; ningún deterioro de la exactitud de la posición con tiempo y distancia; y ninguna pérdida de datos en caso de apagón.

### Comprobación de la realidad

Cuando comenzamos a investigar sobre receptores pequeños de GPS a principios de 1996, encontramos que la unidad más pequeña pesaba 36.4 gramos, demasiado pesado para las aves. Al mismo tiempo, la antena disponible más pequeña para GPS era una antena pasiva, con una longitud lateral cerca de 2.5 centímetros y una capa de cerámica pesada en el centro. La longitud de la antena podría caber en la parte posterior de una paloma, pero la capa de cerámica agregaría demasiado peso para que el ave se desenvuelva.

En ese punto, casi renunciábamos porque solucionar el problema de miniaturización del GPS parecía imposible. Incluso con los fabricantes de tarjetas híbridas de GPS, el único dispositivo no lo pudimos encontrar hasta 1999, era pequeño y bastante ligero para este uso, no creí que el GPS fuera conveniente para las palomas cuando discutí su uso con ellos en diciembre de 1997. Eckhard Rüter fue uno de los pocos ingenieros que compartieron la visión y el entusiasmo de poner una tecnología como el GPS en la espalda de una paloma. La mayoría de los otros ingenieros pensaron que era una idea ridícula. Sin embargo, ofrecieron información valiosa para ayudarme a encontrar nuevas ideas. Por ejemplo, un fabricante alemán de antenas me dio una antena pasiva fuera de su laboratorio. Pesando apenas 13 gramos, la unidad era más ligera que cualquier otro dispositivo que hubiera descubierto durante toda mi investigación. Renovó mi esperanza, y me convencieron de que un diseño ligero de la antena sería desarrollado pronto y las palomas podrían ser seguidas con GPS. Para mí, el aspecto más fascinador de este particular proyecto fue que residió en los límites de la tecnología contemporánea.



**Figura 1.** este es el diagrama del registrador de vuelo GPS, previamente publicado por el Real Instituto de Navegación, Reino Unido, en GNSS 2000

**5 piezas llevan las palomas durante los entrenamientos y experimentos: una placa a la espalda con velcro y cintas de Teflón (debajo), registrador de vuelo GPS (encima), y tres tipos de pesos para entrenamientos - un pequeño peso de madera de 7,5 gramos, un pequeño peso de plástico de 25 gramos, y un peso largo de plástico de 35 gramos.**

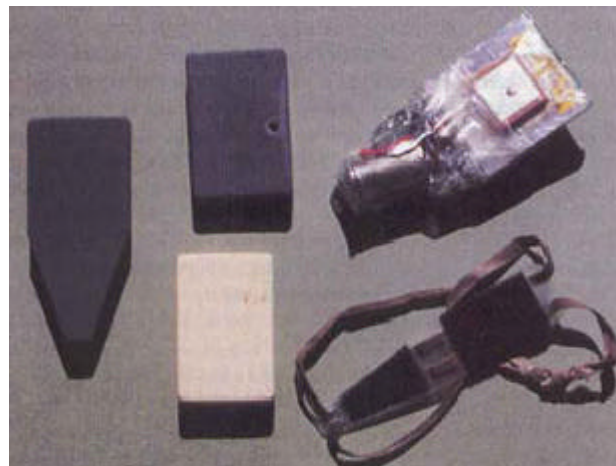
### La construcción del registrador de vuelo

La tecnología de 1997 finalmente había avanzado para permitir que construyéramos un registrador de vuelo GPS. A principios de 1998, estábamos listos para comenzar a construirlo. Primero desarrollamos un prototipo que pesó 100 gramos. Lo probamos durante nueve meses antes de identificar errores y de llevar a cabo mejoras. Por ejemplo, en el 25 por ciento de las pruebas, nuestra antena pasiva sin un preamplificador no pudo conseguir suficiente recepción de señal para que el receptor GPS realizara un ajuste de la posición. Y el decodificador externo no registró nada más que un valor, lo cual requirió la programación enteramente de un nuevo software basado en un lenguaje de programación desconocido. En este punto, casi me di otra vez por vencida en el proyecto.

Entonces, en la primavera de 1999, la nueva tecnología del GPS llegó a estar disponible para salvarnos del problema de la recepción del primer prototipo de GPS. El segundo prototipo - nuestro diseño final - nos dio un comienzo fresco. Eckhard Rüter y Michael Riechmann de Rüter EPV System GmbH crearon el dispositivo y lo hicieron práctico. Clemens Bürgi y Stefan Werffeli, ETH Zürich, contribuyeron enormemente en la parte de la antena del dispositivo.

El nuevo registrador se compone de una tarjeta híbrida de GPS, un decodificador de datos incorporado, un convertidor de potencia, una pequeña antena, una batería de litio y un microprocesador adicional que controla el GPS conforme a unos parámetros de uso definidos. Una cubierta de plástico fino cubre los componentes. El dispositivo mide 8.5 x 4 x 1.5 centímetros y pesa 33 gramos, más 5 gramos adicionales para el arnés. Puede almacenar aproximadamente 90.000 posiciones y funciona durante tres horas, registrando una posición por segundo. La figura 1 muestra las relaciones entre los componentes.

Nuestro registrador GPS mide las posiciones de la paloma durante su vuelo y registra esta posición en la memoria interna. Al final del vuelo de la paloma, los



datos de la posición se descargan a un ordenador. Entonces las trayectorias de vuelo, o las partes de ella, se pueden calcular o reflejar en un mapa. En caso de apagón, los datos están protegidos porque las posiciones se almacenan en una memoria RAM. Los datos se pueden descargar en NMEA, en un formato binario, o ASCII. Un programa Visual Basic convierte datos de NMEA a los formatos estándares que se pueden procesar por PCs.

### Llevando el GPS en el aire.

Antes de volar palomas con nuestro registrador GPS, primero necesitamos que las aves se acostumbren a llevar un dispositivo incómodo.

**Entrenando las palomas.** Utilizamos palomas adultas con experiencia en experimentos de orientación. Dimos a las palomas tres meses para familiarizarse llevando el arnés y los pesos. Enseñada intentamos poner 25 gramos en una paloma, pero éstas actuaban muy afectadas. Así que quitamos los 25 gramos de peso inmediatamente y se dio tiempo a las palomas para que se acostumbraran más lentamente, comenzando con ocho gramos y eventualmente añadiendo peso hasta los 35 gramos.

En las primeras horas de su entrenamiento, las palomas posadas en el suelo o en sus barras de madera, a veces tomaban una posición extraña, y miraban atrás, con una expresión desconcertada que parecían decir, "¿qué está funcionando aquí?" Después de un rato, comenzaron a comportarse normalmente pero, sin asombro, seguían picando en el arnés, el peso, y los nudos.

Una vez que las palomas estuvieron acostumbradas a usar los arneses en sus jaulas, las soltamos incrementando las distancias y en diversas direcciones para darles tiempo a las palomas para que se acostumbraran a volar con el arnés y el peso adicional. Durante estos primeros vuelos el peso del arnés seguía siendo ocho gramos. El arnés se mejoró desde entonces pasando a pesar cinco gramos.

**Vuelos de prueba.** Después de vuelos de prueba cortos en Minden y Frankfurt, Alemania, a principios de septiembre de 1999, trasladamos los vuelos experimentales el 27 y 28 de septiembre de 1999, eligiendo un sitio en Obermörlen, Alemania, aproximadamente a 30 kilómetros al norte de Frankfurt, usado por los investigadores de la paloma mensajera en los últimos 22 años. Durante nuestras pruebas, nueve palomas llevaron los registradores de vuelo GPS, y una de ellas voló dos veces, así que teníamos 10 palomas volando con los



*paloma en una jaula de vuelo, llevando un registrador de vuelo GPS*



*paloma con un arnés de 5 gramos sobre su espalda*

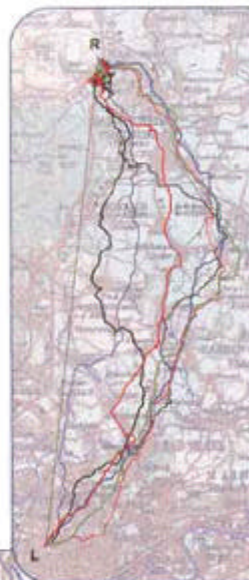
registradores de vuelo GPS. Además, equipamos ocho palomas con los pesos y 11 palomas sin pesos de ningún tipo para ayudar a determinar cualquier diferencia entre las palomas que llevaban los registradores GPS y las palomas que no llevaban nada, que las llamamos de control.

Durante estos primeros experimentos de campo, intentamos contestar a preguntas como por ejemplo: ¿El registrador de vuelo funciona? ¿Las palomas vuelan bien con él? ¿Vienen a casa? ¿Se parecen las trayectorias de vuelo? ¿Cuántos de los registradores de vuelo fallarán en la operación? ¿Y hay diferencias en el tiempo de regreso a casa, las rutas de desaparición, o los tiempos de desaparición entre las palomas de control, las palomas que llevan el arnés y los 35 gramos de peso, y las palomas que llevan el arnés y el registrador de vuelo GPS?

**El lugar de suelta.** Elegimos el sitio de Obermörlen porque, además de ser utilizado previamente con experimentos con palomas, el sitio tenía altura y realizar un esfuerzo adicional o al desvío y evitar la subida.

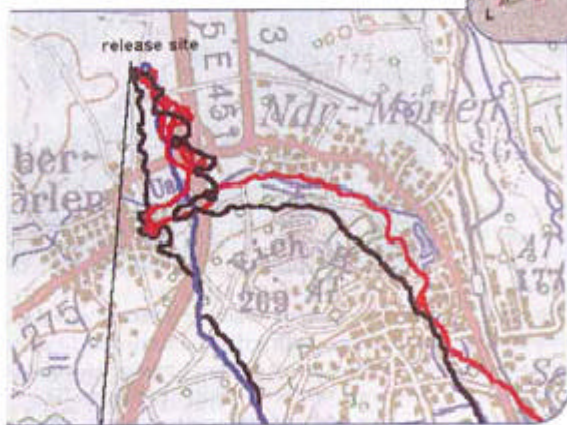


**Figura 2.** muestra la topografía del lugar de suelta en Obermörlen, Alemania. La montaña de Eichberg, una cresta y una cadena de montañas en la ruta directa a casa, forzando a las palomas a ganar altura o realizar un desvío.



**Figura 3.** muestra siete rutas de vuelo completas de palomas con GPS. La línea negra recta representa la ruta más directa entre el lugar de suelta en Obermörlen y el palomar en Frankfurt, Alemania.

**Figura 4.** muestra 4 ejemplos de la ruta inicial de vuelo de las palomas en el lugar de suelta en Obermörlen, Alemania. Pueden verse los vuelos de dos palomas navegando a 90 grados al este alrededor de la colina de Eichberg.



una distancia moderada - dentro de la gama de 10 a 200 kilómetros - desde el palomar, dándonos suficiente distancia para comprobar si los registradores de vuelo GPS funcionan adecuadamente.

El sitio también proporcionó lo que llamamos ángulo de desvío del lugar de suelta, significando que los valores medios de la dirección de varios grupos de palomas están cambiados de posición varios grados lejos de la dirección real a casa y que este cambio demuestra una tendencia sistemática incluso cuando los experimentos se repiten varias veces. En el lugar de Obermörlen, las palomas han demostrado a menudo desviaciones considerables al Este de la ruta a casa. Las direcciones medias de las palomas de control que no llevaban nada variaron desde 114 a 184 grados en los años anteriores a 1993 y de 157 a 172 grados en la primavera de 2000. Estas diferencias de la ruta de desaparición de 185 grados, podrían llevar correctamente las palomas hasta su hogar.

El ángulo de desvío del lugar de suelta fue importante para nuestra investigación porque una de las motivaciones fuertes para hacer un registrador de vuelo fue nuestra pregunta dónde las palomas corrigen su curso aparentemente incorrecto en las zonas donde existe un ángulo de desvío en el punto de suelta. Así que una de las preguntas al soltar palomas con un registrador de vuelo en Obermörlen fue, ¿puede equivalentemente al ángulo de desvío en los puntos

de suelta al Este ser visto también en las rutas de vuelo grabadas con un registrador de vuelo?.

También, en experimentos anteriores, las palomas habían vuelto a casa desde Obermörlen en un alto porcentaje, y deseábamos elegir un lugar en el que regresaran tantas palomas como fuera posible. Este registrador de vuelo GPS es un dispositivo costoso, y tanto si los experimentos se hacían o no, deseamos tenerlo en cuenta. Además, la topografía de la zona es interesante, véase figura 2, con una colina, una cresta, y una cadena de montañas en el camino directo a casa, forzando a las palomas a elegir entre ganar altura y realizar un esfuerzo adicional o al desvío y evitar la subida.

#### **Obtención de los resultados.**

Antes del vuelo real, encendimos los registradores de vuelo del GPS para permitir la búsqueda de satélites antes de la suelta, adquirir un primer ajuste, y comprobar si el GPS grababa la operación. Entonces, lanzamos las palomas.

Cuando realizamos el primer experimento en Obermörlen, temblamos preguntándonos si las palomas volverían. El tiempo del otoño varió considerablemente en esos días pasados de septiembre. Cuando vi la última paloma volviendo a casa el segundo día, me alivié y agradecí tremendamente tener los animales y los dispositivos de regreso.

De las 10 palomas lanzadas con los registradores de

vuelo, medimos con éxito nueve trayectorias de vuelo, con un registro fallido, cada ruta grabada contenía aproximadamente 10,000 posiciones registradas. Los tiempos de las mensajeras se podían medir en las 10 palomas.

Siete de nuestras nueve rutas de vuelo medidas fueron completadas o casi finalizadas, véase la figura 3, con rutas de vuelo registradas desde el lugar de suelta hasta el palomar. En los otros dos casos, encontramos que las palomas tomaron rutas largas en las que las baterías se agotaron y el dispositivo dejó de funcionar.

**Las trayectorias de vuelo.** Trazarlas no fue tan fácil como habíamos planeado. Convertir los datos tomó tiempo. Finalmente tuvimos éxito en trazar cuatro porciones iniciales de las trayectorias de vuelo en un mapa topográfico, véase la figura 4. Cada movimiento, vuelta, y giro de las palomas que habían volado podía ser visto. Las trayectorias de vuelo salieron exactamente como las habíamos deseado según el proyecto. Una idea había dado la vuelta a la realidad.

Durante las pruebas, observamos cuidadosamente las palomas para determinar si existieron diferencias entre las palomas que llevaban los registradores GPS y las palomas de control que no llevaban nada. Las palomas volaron generalmente bien con el registrador GPS, pero tendieron a volar más bajo, y la frecuencia de su batir de alas parecía ser más alta. La gente que trabaja frecuentemente con palomas observándolas y anotando las diferencias vieron que el vuelo de las palomas apareció sin interferencias: no vacilaban, no tenían apuro por tomar tierra, y volaron como lo hacen las palomas normalmente.

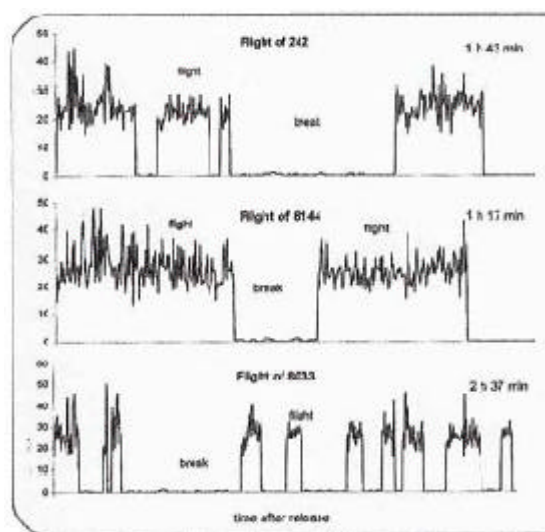
Además, algunas aves que llevaban los registradores desaparecieron detrás de obstáculos tales como árboles, casas, o iglesias antes de tomar la ruta de desaparición normal, lo cual en experimentos estándares representa el comportamiento del grupo e indica si ese grupo de palomas se orientaron y si éstas fueron hacia casa u otra meta durante la etapa inicial del vuelo.

La mayoría de las palomas volaron con extensos giros inmediatamente después de comenzar su vuelo sobre la aldea o en la dirección a casa, lo cual es una observación común, véase figura 4. Asombrosamente, todas las posiciones del trayecto del vuelo más allá de algunos cientos metros al sur del pueblo de Obermörten se sitúan al este de la línea directa entre el lugar de suelta y el palomar. Las palomas se desviaron tanto como 9,3 kilómetros al este de la ruta directa, según lo demostrado en la figura 3, en la que se representan siete

trayectorias de vuelo completas. La "R" es el punto de suelta o comienzo de vuelo, "L" es el palomar (el hogar de las palomas), y la línea recta en fino es la ruta directa desde el punto de suelta al palomar.

Dos montañas conectadas por una cresta son casi perpendiculares a la ruta directa a casa, presentando un obstáculo en los primeros kilómetros del vuelo de las mensajeras. La cresta esta 70 metros más alta que el punto de suelta y 80 metros más alta que el valle. En tres rutas, las palomas pueden ser vistas volando 90 grados al este en el comienzo de su vuelo, rodeando la montaña, según se muestra en la figura 3. Después cambian su curso al sureste y parecen seguir un río de valle y establecimientos humanos. La corrección del suroeste de la dirección se hace solamente varios kilómetros más adelante. Los otros cinco eligieron subir y volar sobre la cresta. Pero incluso algunos de ellos dieron la vuelta hacia el este después de cruzar la cresta.

**Otros datos del GPS.** Nuestro registrador GPS también mide la velocidad, que permite que determinemos dónde y cuando una paloma paró de volar. La mayoría de las palomas realizaron varias paradas durante sus vuelos a casa, extendiéndose desde de un minuto a tres horas según lo demostrado en la figura 5.



**Figura 5.** el registrador de vuelo también mide velocidades. Las velocidades registradas pueden verse en los vuelos de las palomas 242, 8144 y 8033 el 27 y 28 de Septiembre de 1999. Los periodos de vuelo y de paradas pueden distinguirse claramente. Los números del lado derecho representan el tiempo total empleado por las mensajeras para regresar a casa.

Inmediatamente después que los registradores GPS fueron encendidos, dos de los nueve que midieron las trayectorias de vuelo exhibieron errores importantes en la posición. Algunas posiciones iniciales se desviaron tanto como 2.9 a 5.6 kilómetros de la posición verdadera por varios segundos. Estos errores ocurrieron porque el receptor GPS todavía no había captado todos los satélites a la vista. Habíamos observado este tipo de errores en el encendido durante el desarrollo del registrador GPS. Por lo tanto, tuvimos cuidado durante los experimentos de encender los registradores GPS por lo menos siete minutos antes de que los animales fueran soltados. Durante los vuelos de prueba reales no vimos ningún salto repentino de la posición.

Varias palomas se posaron durante más de 15 minutos en las pruebas de vuelo, dándonos una oportunidad de comprobar si los errores fueron causados por la disponibilidad selectiva (SA), lo cual podría haber causado que la grabación mostrara un cambio significativo en la posición de las palomas, aunque podríamos decir por nuestros datos de la velocidad que todavía estaban posadas. Por ejemplo, determinamos por los datos de la velocidad que una paloma estuvo posada durante tres horas, y durante ese tiempo todos los puntos de la posición estaban dentro de 110 metros, según lo trazado por el software de mapas. En 14 de 16 paradas largas que observamos, la diferencia máxima en posiciones fue de 100 metros. Ahora, esta precisión debe ser incluso mejor (10 a 30 metros) porque el gobierno de ESTADOS UNIDOS cambió de SA el 1 de mayo de 2000.

Un alto índice de muestreo de un valor por segundo, da lugar a una resolución realista de los giros volados en las rutas, según la figura 5. Un índice del muestreo de un valor cada 30 segundos distorsiona los giros. En esta resolución más baja, no mostrada en ninguna de las figuras adjuntas, sigue siendo posible ver que la trayectoria de vuelo se desvía de un curso recto, pero los giros exactos no son identificables. Las palomas que llevaban GPS realizaron regresos más largos a casa que dos de las tres del grupo de control de experimentos anteriores. El valor medio de las palomas con GPS fue de 133 minutos, comparados con los 52, 91, y 56 minutos de las tres de control. En nuestros experimentos, la paloma más rápida que llevaba GPS voló sin posarse y le llevó 52 minutos alcanzar su casa. La paloma más lenta realizó una larga parada que duró por lo menos tres horas y regresó a casa después de seis horas y 40 minutos.

Una de las palomas de control también tomó seis horas y 1 minuto encendido el mismo día. Mucho del aumento en los tiempos de las mensajeras con GPS es debido a las paradas largas en este caso. Restando el tiempo transcurrido desde que se posaron al del tiempo total de regreso, encontramos que las palomas con GPS con malos tiempos su vuelo fue alrededor de 60 minutos.

### Mejoras futuras

Ahora hemos alcanzado nuestro acierto en el desarrollo de un dispositivo GPS lo suficientemente miniaturizado para sujetar a las palomas mensajeras, haciendo que vuelen con él, y obteniendo las trayectorias de vuelo exactamente medidas. Pero dos limitaciones graves del dispositivo GPS con respecto a las palomas mensajeras persisten: peso y un campo magnético residual.

El tamaño físico del dispositivo es aceptable para las

palomas. Excepto por su peso, estamos satisfechos con el arnés. La cinta y el arnés del Teflón no han causado ningún daño a las plumas ni a la piel, pero todavía son necesarios continuos trabajos porque el daño fue causado por la versión más ligera del arnés. Los dispositivos también pegados a la placa trasera nunca se apagaron en los primeros experimentos.

Comparado a nuestros requisitos iniciales, dos características del registrador GPS son mucho mejores que nuestras expectativas: el índice de muestreo es incluso más alto (un valor por segundo) que nuestro valor mínimo de uno cada cinco segundos, y el número de las posiciones que se pueden almacenar también son más altas que el mínimo de 1.000 que apuntamos en el principio. Ahora, podemos almacenar 10.000 posiciones, y podríamos almacenar cerca de 90.000 si la batería durara más. Las tres horas de operación es el tiempo mínimo que deseamos. Por el momento solamente una batería en el mercado tiene la combinación requerida de peso bajo, alta capacidad, y alto rendimiento, así que esas tres horas son actualmente lo mejor que puede ser alcanzado.

El peso del registrador de vuelo es de 33 gramos con 7 gramos adicionales para el arnés. No podemos reducir el peso sin el desarrollo de los componentes. Este último invierno, redujimos los siete gramos del arnés a 5 gramos omitiendo la placa del pecho y reduciendo el tamaño de la placa trasera. Treinta y ocho gramos totales todavía es mucho para que una paloma lo lleve, representando cerca del diez por ciento de su peso corporal. El comportamiento del vuelo de las palomas se influencia según vimos, en los tiempos de regreso largos y en nuestras observaciones de palomas que perdieron su facilidad de vuelo y batiendo sus alas con una frecuencia más alta. Las paradas largas de las palomas también indican que el registrador GPS les causó un esfuerzo adicional. Un estudio anterior demostró que las palomas pueden ser influenciadas mucho por las cargas del transmisor con un peso de 2.5 a 5 por ciento de peso corporal. Las aves se retrasaron en el 15–28 por ciento en vuelos de 90 kilómetros, y el aumento de la producción de bióxido de carbono en un 41– 50 por ciento. Sin embargo, pensamos que el peso del dispositivo está dentro de la gama aceptable, porque es casi como el peso del alimento que las palomas llevan después de comer, y porque todas nuestras aves regresaron en el día de la suelta, indicando que la debilitación no es demasiado grande. El hecho de que el peso del registrador de vuelo cause a las palomas un esfuerzo adicional en vuelo no implica necesariamente que la orientación fuera influenciada o que la trayectoria de vuelo fuera alterada perceptiblemente.

El dispositivo también produce un campo magnético estático residual. El trabajo previo ha demostrado

que las diferencias de la intensidad de campo de cerca de 0.2 por ciento de la fuerza del campo puede crear una diferencia en la orientación inicial de las palomas. Otras investigaciones en la fuerza y la fuente de este campo residual nos ayudarán a disminuirla.

### Preguntas todavía por contestar

El registrador GPS amplía enormemente las posibilidades de medir las trayectorias de vuelo en aves, tales como halcones, albatros y gansos. El registrador GPS ahora ha permitido medir, registrar, y trazar exactamente detalles de la trayectoria de vuelo con una alta resolución temporal y espacial, una gama de mediciones limitada solamente por la energía de la batería, y una facilidad comparativa del procedimiento experimental que requiere poca energía humana. El éxito del registrador de vuelo representa un avance significativo en el desarrollo de tecnología para animales, con la posibilidad de que muchas más especies animales se pueden seguir con tecnología del GPS.

En nuestro propio trabajo, ahora que hemos demostrado que el GPS puede registrar adecuadamente las trayectorias de vuelo de palomas, podemos comenzar a realizar más experimentos dirigidos a investigar más sobre cómo las palomas mensajeras navegan en su dirección a casa. A través del análisis cuidadoso de los datos del registrador de vuelo, esperamos, nos ayude más adelante en investigaciones sobre los mecanismos biológicos que hay detrás de la navegación de las palomas mensajeras. Porque los seres humanos han confiado durante siglos en las palomas mensajeras para la comunicación, y ahora las utilizan para el deporte, una gran realización podría ser finalmente, entender completamente cómo estas pequeñas aves encuentran el camino a través del mundo para alcanzar su casa.

### Agradecimientos

Este proyecto ha sido apoyado financieramente por el Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG (concesión a Wolfgang Wiltschko) y la Sociedad Alemana de Telemetría (Arbeitskreis Telemetrie, concesión a Karen Von Hünerbein). Agradecemos a nuestros socios por la construcción y prueba del equipo y el software: Frank Jöst y el Dr. Stefan Wolff, universidad de Darmstad, Alemania; Hajo Hamann, Rainer Hartmann, Profesor Klinke, Ralf D. Müller, B. Klauer, universidad de Frankfurt, Alemania; Stefan Werffeli y Clemens Bürgi, ETH Zürich, Suiza; y Michael Riechmann, Rüter EPV System GmbH, Minden, Alemania. Para asistir con pruebas en el terreno de la paloma: Harald Schuka, Minden, Alemania. Por la ayuda práctica con medición de datos: Gisela Schmiedeskamp, Olaf Henseler, y Ralf Hohmann, universidad de Frankfurt. Por proveer muestras de componentes sin ningún coste y por ser muy provechosa

su información, agradecemos a las siguientes compañías: WiSi, Rockwell (ahora Conexant), Murata, Bosch, Varta, Eagle Picher, y JRC. Por el estímulo y la ayuda: Dios; Erhard Salow, Alemania; Profesor Joe Riley, Reino Unido; Kirsten Märkel, Alemania; y el Dr. Anthony Woakes y la Dr. Sandra Wolley, Reino Unido.

### Fabricantes

El registrador de vuelo GPS fue concebido y desarrollado por Karen Von Hünerbein y desarrollado y fabricado por **Rüter EPV-Systeme GmbH** (Minden, Alemania) basado en tarjeta híbrida **µ-blox** (Zürich, Suiza). El software para la conversión de datos fue desarrollado usando *Visual Basic* de **Microsoft** (Redmond, Washington, USA.), y las rutas de las palomas fueron trazadas con **Northport System** software de mapas *Fugawi* (Toronto, Canadá) y **Daimler Benz Aerospace & Dornier Top 50** (Stuttgart, Alemania).

### Autores

**Karen Von Hünerbein**, nacida en 1963, obtuvo dos títulos universitarios, uno en Estados Unidos en 1981 (*Cum Laude*) y el otro en Alemania en 1983. Ella estudió biología en Aachen, Alemania entre 1983 y 1990, con un *catedrático* en fisiología animal y también estudió informática. Durante cinco años llevó a cabo varios trabajos con ordenadores antes de interesarse en la realización de un PhD. En 1995 asistió al instituto de zoología en la universidad de Frankfurt, Alemania, y comenzó el proyecto para el desarrollo de un registrador de vuelo para las palomas mensajeras, combinando ambas habilidades en biología y en informática.

**Eckhard Rüter** es un ingeniero electrónico que trabajó en Alcatel SEL, Stuttgart, Alemania, durante varios años acumulando experiencia con el GPS. Él entonces comenzó su propia compañía desarrollando y produciendo el sistema de comprobación electrónica **TauRIS** para la sincronización exacta en las carreras de palomas.

traducido con permiso de los autores por  
hermanos José Javier y Pedro Déniz

Real S. C. de Tenerife