INFORME TÉCNICO · WHITE PAPER

DuckDik Sense: cómo se calculan sus indicadores

Los algoritmos que convierten las lecturas de la pulsera en sueño, recuperación, estrés, esfuerzo y forma física. Explicamos qué se calcula, cómo, y por qué se decidió hacerlo así.

Versión 2.0 · septiembre 2026 **App** DuckDik Health 1.0.78 **Autor** Duckdik S.L.

No es un dispositivo médico. DuckDik Sense es un producto de bienestar de consumo. Sus indicadores son orientativos y no sirven para diagnosticar, tratar ni prevenir ninguna enfermedad. Ante cualquier síntoma o duda de salud, consulta a un profesional sanitario.

01 Principios de diseño

Cuatro reglas gobiernan todos los algoritmos de este documento. Cuando dos objetivos chocan, estas reglas deciden.

Solo lo que se puede medir

Si la pulsera no tiene el sensor o el dato no es fiable, el indicador no aparece. No hay valores de relleno.

Contra ti mismo, no contra la media

Casi todo se interpreta frente a tu propia línea base de 30 días, no frente a tablas de población.

Evidencia positiva

Para cambiar lo que dice el firmware hace falta una señal independiente que lo contradiga. Sin evidencia, no se toca.

Un hueco es un hueco

Un dato que falta se muestra como «no registrado». Nunca

se interpola ni se sustituye por un cero plausible.

Una quinta regla es de producto: **un número, una fuente**. Cada métrica (la frecuencia cardiaca en reposo, por ejemplo) tiene una única implementación. Esa misma alimenta la pantalla, la línea base, las puntuaciones y el coach, para que el producto nunca cite dos cifras distintas del mismo concepto.

---

02 Qué hace la pulsera y qué hace la app

La Sense mide y guarda unos siete días de historial. La app descarga ese historial en cada sincronización y hace casi todo el cálculo en el teléfono.

PULSERA · FIRMWARE

FC cada 5 min, pasos por tramos, hipnograma de la noche, SpO_2 aproximadamente horaria, índice de variabilidad, grabación de sesiones.

→

TELÉFONO · APP

Limpieza de señal, línea base, correcciones de sueño y todas las puntuaciones e interpretaciones.

→

CUENTA · SERVIDORES UE

Cifras diarias ya resumidas, para sincronizar y para el coach.

En cada apartado marcamos el origen del dato con Firmware si lo entrega la pulsera y con App si lo calcula DuckDik. La comunicación con la pulsera está implementada desde cero en la app, sin el SDK del fabricante. Eso permite pedir los datos con la cadencia que necesitamos y corregir los fallos de fábrica. Un ejemplo: una pulsera nueva sale con la medición continua de oxígeno apagada, y la app la vuelve a activar en cada sincronización.

Como la pulsera guarda una semana de datos, perder la conexión Bluetooth no crea huecos: el historial se recupera en la siguiente sincronización.

---

03 Línea base personal

Es la pieza de la que dependen casi todas las demás. Responde a la pregunta «¿qué es normal para esta persona?».

Estadística robusta sobre 30 días App

- **Ventana:** 30 días naturales. Un día cuenta si trae al menos dos señales (FC, sueño, estrés, pasos o variabilidad).
- **Centro:** mediana, no media.
- **Dispersión:** desviación equivalente a partir de la desviación absoluta mediana:

```
σ ≈ MAD × 1,4826
```

- **Mínimo:** una métrica necesita 5 valores válidos para tener línea base. Por debajo de eso, la app dice que aún no la tiene, en vez de mostrar un valor por defecto.

> **Por qué.** Una noche de 3 horas por un vuelo o una semana con gripe mueven mucho la media y casi nada la mediana. La línea base tiene que describir tu normalidad, no tus excepciones.

Arranque con conocimiento de población App

Los primeros días no hay historial suficiente. Por eso cada lectura se interpreta con una mezcla de tu historia y de una referencia de población ajustada por edad y sexo.

```
peso_personal = 0                          si días < 5
peso_personal = 0,5 + 0,5·(días − 5)/25    si días ≥ 5   (llega a 1 el día 30)

media_efectiva = peso·media_personal + (1 − peso)·media_población
```

El sueño y el estrés pasan a peso personal completo con 7 días. Si tu estrés habitual ronda 60, una referencia de población de 35 no debe decirte que tu normal es 47.

También hay límites a la dispersión. Una serie muy plana haría que cualquier cambio mínimo pareciera grande, y una muy ancha haría que todo pareciera normal.

ESTADO	DÍAS	QUÉ VE EL USUARIO
Aprendiendo	0–4	«Aprendiendo tu patrón». No se dice «dentro de tu rango» porque aún no existe un rango.
Parcial	5–13	Interpretación mixta y un indicador de calibración.
Lista	14–29	Línea base operativa.

ESTADO	DÍAS	QUÉ VE EL USUARIO
Calibrada	≥ 30	100 % personal.

04 Frecuencia cardiaca

La pulsera da una muestra cada 5 minutos, unas 288 al día. Antes de calcular nada con ellas, pasan por una limpieza conservadora que comparten todas las pantallas.

Limpieza de la serie App

1. **Rango fisiológico:** se descarta lo que cae fuera de 30–220 lpm. Un paquete perdido deja un hueco en su sitio y no desplaza el resto del día.
2. **Picos aislados:** una muestra se descarta si se aleja más de 35 lpm de su vecino válido más cercano *a los dos lados*, buscando hasta 3 posiciones. Se evalúa la serie completa antes de borrar, para que un descarte no provoque otro.
3. **Máximo con apoyo:** el máximo del día o de la sesión es el valor más alto que tenga otra muestra a ±15 lpm dentro de ±2 posiciones.

> **Por qué.** Cuando empiezas a correr, la FC sube en rampa y las muestras vecinas la acompañan. Un mal contacto óptico, en cambio, sobresale por los dos lados. Un pico de una sola muestra no puede marcar tu récord.

Medición puntual («Medir ahora») App

El sensor óptico tarda en estabilizarse, así que no se promedia toda la medición:

1. Se busca el primer tramo estable: 5 muestras seguidas con menos de 8 lpm de diferencia.
2. Desde ahí se toman como máximo las últimas 30 muestras.
3. Se calcula una media recortada 20/20: se quitan el 20 % más alto y el 20 % más bajo.

En directo, la pantalla muestra la mediana de las últimas 5 muestras válidas, a partir de la tercera.

Frecuencia cardiaca en reposo App

Se calcula como el **mínimo sostenido durante el sueño**:

```
muestras válidas = FC en la ventana de sueño
                  − tramos de 15 min con pasos
                  − sesiones deportivas y los 90 min siguientes
FC_reposo = mín( media móvil de 5 muestras seguidas ≈ 25 min )
```

Si no hay noche registrada, se prueba la franja 23:00–06:00 y después el día completo, con los mismos filtros y un mínimo de 30 minutos de datos válidos. Si no se llega a ese mínimo, no se publica ningún valor.

> **Por qué.** La media fija de 23:00 a 06:00 incluye los minutos antes de dormirte y después de despertar, y sube la cifra unos 10 lpm. El mínimo absoluto capturaría artefactos. El mínimo de una media de 25 minutos es la opción estable entre las dos. Excluir los 90 minutos tras el ejercicio evita publicar como reposo la recuperación de un entrenamiento.

Frecuencia cardiaca máxima de referencia App

Para zonas, calorías y esfuerzo se usa el valor del perfil si el usuario lo ha fijado (entre 140 y 220). Si no, `220 − edad`. Cuando una sesión con pulso fiable supera esa fórmula en más de 10 lpm, y la grabación de la pulsera lo confirma, la app propone al usuario adoptar su máxima real.

Oxígeno en sangre (SpO_2) Firmware

La pulsera mide aproximadamente una vez por hora. La app acepta valores entre 70 % y 100 %, los ordena por hora y muestra la media del día y su evolución. Esta resolución permite ver tendencias, pero no contar eventos nocturnos (ver apartado 14).

Índice de variabilidad Firmware

La Sense no da acceso a los intervalos entre latidos, así que no se puede calcular una RMSSD real. Lo que entrega el firmware cada 30 minutos es un **índice** de variabilidad, que se mueve poco de un día a otro. La app lo muestra etiquetado como índice y comparado con tu propia base. Ninguna puntuación principal depende de él de forma decisiva.

---

05 Sueño

El firmware entrega cada noche un bloque con hora de inicio, hora de fin y fases (ligero, profundo, REM y despierto). La app no vuelve a clasificar las fases: corrige la ventana de sueño,

detecta desvelos con pruebas independientes y calcula las métricas de la noche.

Noche o siesta App

El firmware actualiza su registro del día a lo largo de la jornada. Por eso una siesta larga podría sustituir a la noche. Antes de guardar un bloque, se clasifica:

- **Es noche** si dura 4 horas o más, o si dura más de 30 minutos, empieza entre las 21:00 y las 06:00 y termina antes de las 13:00.
- **Turnos:** un bloque de 2 horas o más que empieza por la mañana se acepta como noche si no hay otra ese día.
- **Jornada diurna:** un bloque que empieza a las 5–6 h y acaba después de las 14:00 no es una noche.
- **Siesta:** un bloque que termina entre las 14:00 y las 20:00, cuando ya hay noche guardada, es siesta y no la sustituye.
- **Sofá:** un bloque corto que termina entre las 20:00 y la 01:00, seguido de 200 pasos o de la FC 15 lpm por encima del reposo en los 20 minutos siguientes, era estar en el sofá, no dormir.

Un bloque que no pasa como noche se le *propone* al usuario como siesta. Nunca se registra solo.

Corrección de la ventana y desvelos App

El firmware casi nunca marca los desvelos y suele alargar el sueño después de que te has levantado. La corrección sigue una regla estricta: **solo evidencia positiva**. Puede convertir sueño en vigilia, nunca al revés, y nunca inventa fases.

EVIDENCIA	FUERZA	CONDICIÓN
Pasos de la pulsera y FC	Fuerte	Pasos por encima del umbral del tramo (60/h) **y** FC ≥ reposo nocturno + 8 lpm. Solo cuentan los minutos con la FC elevada.
Desbloqueo del móvil	Fuerte	Si desbloqueaste el móvil a las 04:12, no estabas dormido.
Pasos del móvil	Fuerte	Ventanas con 8 pasos o más en Apple Salud o Health Connect.
Pantalla encendida sin desbloquear	Débil	No abre un desvelo por sí sola; solo alarga uno ya abierto.

Con esa evidencia se construyen los episodios:

- Cada episodio empieza en una evidencia fuerte, se amplía con la evidencia contigua y suma un margen de -2/+3 minutos.
- Se unen los episodios separados por 5 minutos o menos, y se descartan los de menos de 5 minutos.
- Un episodio a menos de 20 minutos de un extremo de la noche no es un desvelo: recorta ese extremo. Así se corrige el «seguía dormido» del firmware.

Hay varios límites de seguridad:

- La noche nunca queda por debajo de 3 horas.
- Si la corrección convertiría en vigilia más del 40 % de la noche con evidencia de la pulsera (85 % si la evidencia es del móvil), no se aplica.

> **Por qué.** Girarse en la cama genera pasos falsos, e ir al baño genera pasos y además sube la FC: por eso se exigen las dos cosas. **Ninguna regla usa solo la FC o solo la variabilidad**, porque el sueño profundo y estar despierto sin moverse se parecen demasiado en esas señales. Estar despierto en la cama, quieto y sin tocar el móvil no se puede detectar con este hardware. Para eso está la edición manual.

Día lógico con corte a las 04:00 App

Para todo lo relacionado con la noche, el día cambia a las 04:00 y no a medianoche. Si a las 00:45 sigues despierto, la app no te dice que «no hay sueño registrado anoche». Pasos y calorías sí cambian a las 00:00.

Puntuación de sueño (0–100) App

COMPONENTE	PESO	CÁLCULO (0 A 1)
Duración	0,40	mín(1, dormido / necesidad personal). Dormir de más no resta.
Eficiencia	0,15	(eficiencia - 0,75) / 0,20. Un 95 % da 1; un 75 % o menos, 0.
Continuidad	0,15	1 - 0,6·mín(1, vigilia/90 min) - 0,4·mín(1, despertares/8)
Fases	0,20	Media de dos bandas: profundo 13–23 % y REM 18–28 %.
Bajada de FC	0,10	(FC despierto - FC dormido) / FC despierto. Una bajada del 10 % o más da 1.

$$\text{puntuación} = 100 \cdot \Sigma\, w_i \cdot \text{sub}_i \;/\; \Sigma\, w_i \qquad \text{(solo los componentes con dato)}$$

Detalles de algunos componentes:

- **Pesos:** se reparten solo entre los componentes disponibles, así que no se penaliza lo que no se pudo medir. Por ejemplo, a primera hora aún no hay FC de vigilia y la bajada de FC queda fuera.
- **Fases poco creíbles:** si el hipnograma trae más de un 35 % de REM, o menos de un 5 % de profundo con más de un 25 % de REM, el componente de fases puede sumar pero no restar.
- **Bajada de FC:** se usan medianas. La FC dormido sale de la ventana de sueño; la FC despierto, del tramo entre una hora después de levantarte y las 22:00.

Necesidad personal de sueño App

No se supone que necesitas 8 horas. Se deduce de tus noches:

```
noche buena = dormido ≥ 4 h  ∧  profundo ≥ tu mediana  ∧  índice de variabilidad ≥ tu
necesidad   = mediana(duración de las noches buenas)    con ≥ 14 noches buenas
              acotada a 6–9 h
```

Hasta que hay datos suficientes (30 días), el objetivo es 7 h 30 min.

> **Por qué.** Tu media de sueño es lo que duermes, no lo que necesitas. Si la usáramos como objetivo, premiaríamos un déficit crónico.

Deuda de sueño y regularidad App

```
deuda = déficit(anoche) + 0,20 · déficit(anteanoche) − crédito_siesta
crédito_siesta = 0,60 · mín(siesta confirmada, 60 min)      (máx. 36 min)
```

La deuda se mide frente a tu necesidad personal. Si todavía no hay referencia, no se calcula: no se inventa un objetivo de 8 horas. No hay deuda crónica acumulada a 14 días, porque en las pruebas confundía más de lo que ayudaba.

La **regularidad** se mide como la dispersión (MAD) del punto medio del sueño real en las últimas 14 noches, con un mínimo de 7. Se expresa en minutos, y se considera un horario «anclado» por debajo de 45 minutos.

Siestas y edición manual App

Siestas: el sensor propone y el usuario confirma.

- Entre las 10:00 y las 21:00 se buscan tramos de 20 minutos o más sin pasos, con la FC por debajo de la de las horas previas y cerca del reposo, y sin uso del móvil.
- Se hace como mucho una propuesta al día. Si el usuario rechaza dos en 14 días, el detector se vuelve más estricto.

Edición de la noche:

- El usuario puede recortar o alargar la ventana.
- Los minutos añadidos quedan como «sin clasificar»: cuentan para la duración, pero nunca se convierten en profundo o REM inventados.
- La edición se vuelve a aplicar en cada sincronización, y la noche original se puede restaurar.

---

06 Recuperación y energía

La Recuperación responde a «¿cómo te ha dejado la noche?». La Energía responde a «¿cuánto te queda ahora?». La primera se fija al despertar; la segunda arranca de ese mismo número y se va gastando durante el día.

Recuperación al despertar App

Es un único cálculo. El mismo número aparece en el anillo, en la pantalla de detalle con sus componentes, como punto de partida de la Energía y en lo que lee el coach. Parte de 50 y se mueve con cuatro componentes de la noche:

```
recuperación = clamp(50 + Σ δᵢ, 0, 100)
δᵢ = round(wᵢ · (2·subᵢ − 1))        y si δᵢ < 0 → δᵢ · 0,6
```

COMPONENTE	W	CÁLCULO (0 A 1)
Duración	16	(dormido / necesidad personal - 0,45) / 0,55. Satura al 100 % de tu necesidad: dormir de más nunca resta.
Fases	12	Calidad de las bandas de profundo (13–23 %) y REM (18–28 %), como en la puntuación de sueño.
Continuidad	8	Media de eficiencia y continuidad (minutos despierto y número de despertares).

COMPONENTE	W	CÁLCULO (0 A 1)
FC nocturna	14	Media de la bajada de FC al dormir, (dip − 0,05)/0,20, y de la FC en reposo frente a tu base, (2 − z)/4.

Un componente sin datos aporta 0, no un castigo. Sin noche registrada no hay número y los anillos quedan en blanco.

> **Por qué los castigos pesan menos.** Los descuentos se aplican al 60 % a propósito: la recuperación es un mensaje con el que empiezas el día, no un veredicto. El modelo no usa el índice de variabilidad de la pulsera: en la Sense es la misma señal de fondo que el estrés, y además apenas se mueve.

> **Por qué este modelo.** Lo comparamos con un modelo anterior, basado sobre todo en las horas dormidas, en más de 23.000 noches reales. Este modelo separa mejor las noches malas: las de menos de 4 horas quedan en torno a 48 frente a 58, y las largas pero fragmentadas en 76 frente a 83. Las noches buenas siguen en verde en el 98 % de los casos.

Energía durante el día App

Empieza en tu recuperación al despertar y se descarga cada 5 minutos. El drenaje por minuto combina:

- un gasto basal que crece con las horas despierto;
- un ritmo circadiano, con más gasto en la bajada de después de comer y por la noche;
- el coste cardiovascular del momento, con el mismo término que el Esfuerzo (`HRR^2,5`);
- los pasos;
- un multiplicador si llevas más de 18 horas despierto.

Descansar sin pasos y con la FC cerca del reposo reduce el drenaje a la mitad, pero no recarga. Solo recarga una siesta confirmada:

```
recarga_siesta = 22 · (1 − e^(−min/35))      (máx. 25 puntos)
```

07 Estrés y calma

Estrés por horas

Firmware App

Si la pulsera entrega su índice de estrés con buena cobertura (al menos 12 horas con dato), se usa ese índice. Si no, la app lo calcula hora a hora, solo en horas en las que la pulsera confirma reposo (300 pasos o menos). Una FC alta en movimiento es ejercicio, no tensión.

```
z_FC          = (FC_hora − base) / σ                          peso 0,45
z_var         = (base − variabilidad_hora) / σ                peso 0,40
z_inesperada  = máx(0, FC − (reposo + FC explicada por pasos)) / 8   peso 0,15

estrés = 50 + 20 · tanh(z_ponderada / 1,2)      → 50 = exactamente tu normal
suavizado entre horas: EWMA α = 0,55
```

Si falta una señal, los pesos se reparten entre las demás. La interpretación («alto para ti», «normal») se hace siempre frente a tu propia base.

> **Por qué.** Las fórmulas del tipo «100 - variabilidad» dejan a las personas con variabilidad baja, sobre todo mayores, clavadas en «estrés 60» todos los días, pase lo que pase. Medir la desviación frente a uno mismo corrige eso.

Un minuto de calma

App

El aviso para respirar no se basa en el índice de estrés, sino en una firma más directa. Salta cuando se cumplen todas estas condiciones:

- todos los tramos de 5 minutos de los últimos 20 minutos están a 12 lpm o más por encima de tu reposo (con al menos 3 tramos con dato);
- ha habido 120 pasos o menos en la última media hora;
- es entre las 9:00 y las 22:00;
- no hay ninguna sesión deportiva en curso;
- no ha saltado ya ese día (máximo uno al día).

El aviso abre un ejercicio guiado de 60 segundos a ritmo 5-5, en el que la pulsera vibra al inhalar y al exhalar.

> **Por qué.** Otros dispositivos avisan de estrés justo después de hacer ejercicio. Cruzar con el acelerómetro separa el esfuerzo de la tensión.

Tras cada sesión de respiración, el informe muestra la FC al empezar y al terminar (medianas del primer y último minuto) y los minutos en calma, es decir, con la FC a 8 lpm o menos por encima del reposo.

---

08 Esfuerzo, estado de forma y calorías

Esfuerzo diario (0–99) App

Cada minuto con dato de FC se convierte en carga a partir de la reserva de frecuencia cardiaca:

```
HRR   = clamp((FC − FC_reposo) / (FC_máx − FC_reposo), 0, 1)
carga = HRR^2,5 · factor_movimiento

factor_movimiento:  carrera 1,25 · ≥ 60 pasos/min 1,15 · movimiento normal 1,0 · sin m

esfuerzo = ⌊ 99 · (1 − e^(−L/K))^0,40 ⌋
K        = clamp(mediana(carga diaria, 30 d) · 1,4, 50, 120)    (75 hasta tener 21 día
```

A la carga se suma el trabajo de fuerza registrado (series, repeticiones y kilos).

> **Por qué.** El exponente 2,5 hace que un esfuerzo corto e intenso cueste lo que cuesta de verdad. El factor 0,7 separa una FC alta sin moverse (tensión) del entrenamiento. K es personal, así que tu día normal cae en mitad de la escala sea cual sea tu forma física. Se usa la mediana para que una semana de vacaciones o de enfermedad no recalibre la escala.

Estado de forma y esfuerzo objetivo App

- **Estado de forma:** es la relación entre la carga aguda (media de 7 días) y la crónica (media de 28 días). Exige 10 días con dato y 3 en la última semana. Las bandas son <0,5 · 0,5–0,8 · 0,8–1,3 (zona óptima) · 1,3–1,5 · >1,5.
- **Esfuerzo objetivo del día:** depende de la recuperación (óptima 60–80, buena 45–65, moderada 30–50, baja 0–30) y se ajusta una banda arriba o abajo según el estado de forma.

Balance energético App

El metabolismo basal (BMR) sale de la ecuación de Mifflin-St Jeor y se reparte a lo largo del día con una curva suave:

```
BMR = 10·kg + 6,25·cm − 5·edad + 5 (hombre) / − 161 (mujer)
reparto horario: 1 + 0,10 · sin((h − 6)·π / 12)
```

Las calorías activas salen de las muestras reales de FC cada 5 minutos, combinadas con la cadencia de pasos en un modelo ramificado tipo Brage:

- Se calcula la intensidad de pulso y se convierte en METs según el Compendio de Actividades Físicas: 1,3 · 2,5 · 4,0 · 6,0.
- Con una cadencia de 60 pasos/min o más, manda el mayor de pulso o pasos.
- Con pulso alto y sin pasos, se aplica un factor de 0,8.

```
kcal_activas = (MET − 1) · kg · horas        (tope diario: 1,5 × BMR)
```

El contador de calorías del firmware se ignora a propósito: en más de la mitad de los días daba cifras imposibles. Los minutos de una sesión deportiva se sustituyen por las calorías calculadas para esa sesión.

---

09 Pasos y distancia

Total del día Firmware App

El total del día sale del contador de la pulsera. El detalle por tramos de 15 minutos alimenta las gráficas y los días anteriores. Sobre ese total se aplican tres guardas:

- **Solo sube dentro del día.**
- **Techo de cadencia:** 2.000 pasos más 250 por minuto transcurrido desde medianoche.
- **Pasos de ayer como si fueran de hoy:** un salto brusco a exactamente el total de ayer se rechaza.

Calibración personal App

```
pasos    = pasos_pulsera × factor          factor ∈ [0,60, 1,15]
distancia = pasos × zancada
```

- **Factor:** lo puede fijar el usuario; si no, se aprende con la mediana de la relación móvil/pulsera en al menos 14 días comparables.
- **Zancada:** parte de la altura (andar 0,415 × altura, correr 0,65 × altura), se interpola según la cadencia y se afina con sesiones con GPS.
- **Pasos falsos:** se descuentan los que la pulsera cuenta en bici, spinning, natación o remo.

Una sola fuente por ventana App

Cuando el usuario conecta Apple Salud o Health Connect, el móvil también cuenta pasos. Para no sumarlos dos veces, cada tramo tiene una sola fuente válida:

- Si la pulsera suma 500 pasos o más en el día, manda la pulsera.
- Si no, se fusiona tramo a tramo con el móvil, descartando los tramos de pulsera sueltos que parecen ruido.
- Todo lo que DuckDik escribe en Salud se excluye al leer, para que no vuelva como si fuera un dato nuevo.

Una pulsación larga sobre el contador muestra el desglose por fuente.

---

10 Sesiones deportivas

Durante una sesión, la pulsera entra en modo deporte y graba por su cuenta, aunque el móvil se quede en casa. La ruta y el ritmo con GPS los pone el móvil, porque la Sense no tiene GPS.

Dos fuentes de pulso que se completan Firmware App

- **En directo** (con el móvil cerca): una muestra por segundo, con el suavizado por mediana descrito en el apartado 4.
- **Grabación de la pulsera:** al terminar, la app descarga el resumen (media, mínima, máxima, pasos, distancia, calorías) y la curva guardada en la muñeca.
  - La grabación manda si la sesión no tenía pulso en directo o si cubre más de 1,3 veces lo que midió el móvil.

    - Los huecos se rellenan con interpolación lineal entre lecturas reales, sin extrapolar.
    - Las sesiones largas se graban en tramos de 30 minutos que luego se unen.
- **Red de seguridad:** si una sesión se queda sin pulso, se reconstruye con la serie de 5 minutos del día.

Se cumplen siempre dos reglas: la máxima nunca queda por debajo de la media, y el máximo de la sesión nunca queda por debajo del máximo del día.

Detectores de pulso no fiable App

El sensor óptico de muñeca a veces sigue la cadencia de los pasos o el braceo en lugar del corazón. Al cerrar una carrera o una caminata de 15 minutos o más, la sesión se analiza en ventanas de 3 minutos. Una ventana es sospechosa si su FC:

- coincide con la cadencia de carrera (entre cadencia - 16 y cadencia + 25);
- coincide con la mitad de la cadencia;
- andando, coincide con 1,5 veces la cadencia (±8);
- o supera la FC máxima de forma sostenida.

Si el 60 % de las ventanas o más son sospechosas, se aplica lo siguiente:

- los tramos malos se sustituyen por una estimación: la relación ritmo-pulso personal del usuario (con al menos 4 sesiones buenas) o, en su defecto, la ecuación ACSM de coste de carrera o marcha;
- las calorías se recalculan por METs, solo a la baja;
- la sesión deja de alimentar el máximo del día.

En bici, spinning o fuerza pasa lo contrario: agarrar el manillar puede hundir la lectura. Cinco minutos seguidos por debajo de un umbral bajo marcan la sesión, y se estiman las calorías por METs.

Zonas y calorías de la sesión App

```
zonas (% FC_máx):  Z1 <50 · Z2 50–60 · Z3 60–70 · Z4 70–80 · Z5 ≥80
MET_sesión = clamp(1 + 9·HRR, 1,3, 12)
kcal       = Σ (MET − 1) · kg · Δt
```

Los **minutos en zona** semanales usan la reserva de FC (moderado ≥ 0,50, vigoroso ≥ 0,70) y el objetivo de la OMS: moderados + 2 × vigorosos ≥ 150 a la semana.

---

11 Forma física y edad DuckDik

VO_2máx: la mejor fuente disponible App

La estimación usa la fuente más fiable de las últimas 6 semanas, en este orden:

#	FUENTE	MÉTODO
1	Test de caminata guiado (1 milla)	Ecuación de Rockport
2	Carrera con GPS (≥ 1,5 km, ≥ 6 min)	VDOT de Daniels, corregido por la intensidad cardiaca si el pulso es fiable
3	Caminata rápida que encaje con el test	Rockport
4	Esfuerzo submáximo (≥ 20 min, ≥ 2 km)	Coste ACSM con pendiente ÷ % de reserva cardiaca; mediana
5	Solo reposo (≥ 5 noches)	Uth-Sørensen: 0,92 · 15,3 · FC_máx / FC_reposo

El factor 0,92 compensa el sesgo al alza conocido de la fórmula de Uth. Cualquier resultado fuera de 15–85 se descarta. Si no hay ninguna fuente, no se muestra estimación.

Predictor de carrera App

Aplica la fórmula de Riegel, $T_2 = T_1 \cdot (D_2/D_1)^{1,06}$, a tu mejor carrera reciente para 5K, 10K, media maratón y maratón. Sin carreras recientes, se proyecta desde el VO_2máx.

Edad DuckDik App

Traduce marcadores con evidencia de mortalidad publicada a años de edad, con el modelo de Gompertz (el riesgo se duplica aproximadamente cada 7 años de edad):

```
Δaños_i = ln(HR_i) / ln(1,10)
edad_DuckDik = edad + Σ Δaños_i       (±6 años por marcador, ±12 en total)
```

MARCADOR (28 DÍAS)	RELACIÓN DE RIESGO	FUENTE
FC en reposo	×1,09 por cada 10 lpm por encima de 60	Zhang, CMAJ 2016
Pasos diarios	Curva por tramos, con tope a partir de 7.000–9.000 pasos según edad	Paluch, Lancet Public Health 2022
Regularidad del sueño	Del mejor al peor tramo, de 30 a 120 min de dispersión	Windred, Sleep 2024
Duración del sueño	Solo penaliza por debajo de 7 h	Ungvari, GeroScience 2025

Hacen falta al menos 3 marcadores y 7 días de datos. El VO_2máx y la variabilidad se excluyen a propósito: el primero sería circular y la segunda no es fiable en esta pulsera.

> **Por qué asimétrica.** Es fácil envejecer y difícil rejuvenecer: los marcadores tienen tope en su zona buena. Esta es la única métrica del producto que se compara con la población, porque eso es lo que significa «edad biológica».

12 Funciones de interpretación

Son funciones de **aviso**, no de diagnóstico. Todas se basan en tu línea base, exigen un mínimo de días de historial y se equivocan a favor de callar.

Señal temprana

Compara el día con la media de tus 14 días anteriores en cuatro marcadores:

MARCADOR	DESVIACIÓN QUE CUENTA
FC del día	+10 %
Índice de variabilidad	-15 %
SpO_2	-2 puntos
Proporción de sueño profundo	-25 %

Con dos marcadores desviados a la vez, la app avisa de que tus datos se salen de lo habitual («vigilar»); con tres, el aviso sube de nivel. No se evalúa con menos de 3 días de referencia. No distingue causas (infección, sobrecarga, mala noche): solo dice que algo se ha movido.

Carga fisiológica

Compara con 14 días, saltándose hoy y ayer para que la propia anomalía no contamine la referencia. Los marcadores son:

- FC en reposo +5 lpm, solo si viene de una noche real;
- variabilidad -15 %;
- sueño 30 minutos por debajo;
- estrés +15 %.

El aviso se activa con dos marcadores o más. Un marcador suelto es ruido.

Noche alterada y alcohol

Busca tres firmas frente a tu base (al menos 7 días de historial):

- **FC nocturna elevada:** ≥ 1σ y ≥ 4 lpm.
- **Variabilidad reducida:** ≥ 1σ y ≥ 5 ms.
- **Sueño fragmentado:** vigilia ≥ 30 min *y* ≥ 1,3 veces tu vigilia habitual.

Con dos firmas o más, la noche se describe como «movida». Solo se atribuye al alcohol si el usuario ha marcado que bebió ese día o el anterior. La app nunca supone que has bebido.

> **Por qué la fragmentación es relativa.** Con un umbral fijo, las personas que siempre duermen fragmentado activaban la firma casi todas las noches. Comparada con tu propia vigilia habitual, la firma solo salta cuando tu noche es peor que tu normal.

Modo burnout

Mira 28 días y necesita al menos 21 con dato de estrés. Se activa con 21 días o más de estrés por encima de 65, o con una racha de 14 días seguidos por encima de 75. Cuando está activo, la resiliencia se muestra como «limitada». Es un aviso de carga sostenida, no un diagnóstico.

Reloj interno

El día se divide en ventanas contadas desde tu hora real de despertar:

```
foco profundo   +60 … +180 min
pico cognitivo  +150 … +270 min
pico físico     +480 … +600 min   (se ajusta a tu hora de FC más alta de los últimos 1
desconexión     desde +840 min
```

El cronotipo (madrugador, intermedio o noctámbulo) sale de la hora media de despertar de los últimos 30 días.

Cuerpo y clima

Cruza tu estado con el tiempo local de Open-Meteo: sensación térmica, humedad, presión, viento, UV y calidad del aire. De ahí salen un nivel de exigencia climática (0–2) y un índice de riesgo (0–100), que se usan para ajustar consejos. Por ejemplo, no se recomienda correr al mediodía con UV 9 y 34 °C de sensación.

Hábitos y qué marcó tu noche

El usuario marca hábitos (café tarde, cena copiosa, pantallas, alcohol…). El efecto de cada hábito se calcula así:

```
efecto = media(métrica del día siguiente | con hábito) − media(… | sin hábito)
```

- Hacen falta 4 días con el hábito y 4 sin él, en una ventana de 60 días.
- Para explicar una noche concreta, solo se nombra un hábito que el usuario marcó de verdad, con un efecto de al menos 15–20 minutos o 5 puntos y del mismo signo que lo que pasó.

Reto de 28 días caminando

Programa de caminata por intervalos: 3 minutos rápido y 3 suave, empezando con 3 rondas por paseo y subiendo según el cumplimiento.

- **Tramo rápido válido:** 100 pasos/min o más, o un 40 % de la reserva cardiaca.
- **Objetivo de pasos:** tu mediana más 500 por semana.
- **Adaptación:** si la recuperación baja de 40 o hay señal temprana, el paseo del día pasa a ser suave y el objetivo baja al 80 %.

Informe para el médico

Resume 30 días. Para cada métrica da la mediana, la mínima, la máxima, tu rango habitual (percentiles 25–75) y los días fuera de él. Una métrica con menos de 5 días de datos se omite. No incluye tensión arterial ni series en bruto. En la Sense, la variabilidad se etiqueta como «índice de la pulsera».

---

13 El coach y el flujo de datos

El coach convierte lo calculado en lenguaje natural. La interpretación se hace en el teléfono; el modelo de lenguaje redacta a partir de cifras ya resumidas.

Qué se calcula dónde

- **En el teléfono:** todo lo descrito en los apartados 3 a 12. El diario del día (saludo, lectura de ayer y de hoy) tiene un generador local, determinista y sin conexión, que se usa como respaldo.
- **En la cuenta** (servidores en la UE, Ámsterdam):
  - un resumen diario (puntuaciones, sueño total, profundo y REM, eficiencia, FC en reposo, índice de variabilidad, estrés medio, pasos, siestas y resumen de sesiones);
  - el perfil (edad, sexo, peso, altura);
  - los mensajes al coach;
  - eventos del calendario, si el usuario lo conecta, con los datos personales del título redactados;
  - la ciudad y el modelo de pulsera.
- **Redacción:** ese resumen y los mensajes se envían a un modelo de lenguaje (OpenAI GPT-4o mini), que actúa como encargado del tratamiento.
- **Clima:** para consultar el tiempo, el teléfono envía su ubicación aproximada directamente a los servicios meteorológicos (Open-Meteo, BigDataCloud). A nuestros servidores solo llega el nombre de la ciudad.

En una frase: las señales en bruto se quedan en el teléfono. Lo que sincroniza la cuenta son cifras ya resumidas, en servidores de la UE.

Cómo se evita que el coach invente

1. **Base de conocimiento única.** El coach solo conoce las funciones que ya están publicadas y que el usuario puede ver. Esa base se genera automáticamente desde el repositorio de la app y pasa un filtro de términos prohibidos por la normativa de productos sanitarios.
2. **Reglas de verdad del producto.** Se inyectan en cada conversación. Por ejemplo: no interpretar el índice de variabilidad de la Sense como un valor clínico, no suponer que el usuario ha bebido y no negar datos que tiene delante.
3. **Batería de casos reales.** Antes de publicar cualquier cambio se ejecuta un conjunto de conversaciones de referencia; si alguna falla, el cambio se revierte solo.
4. **Confirmación explícita.** Cualquier cambio en el plan de entrenamiento se confirma pulsando una tarjeta. El chat nunca aplica cambios por su cuenta.

Derechos del usuario

El usuario puede exportar todo su historial local a CSV desde la propia app; los datos que faltan salen como celdas vacías, nunca como ceros. También puede borrar la cuenta desde la app, lo que elimina los datos del servidor, la cuenta de acceso y la base de datos local.

---

14 Lo que la Sense no hace, y por qué

NO SE MUESTRA	MOTIVO
Tensión arterial	El firmware ofrece una cifra, pero se deriva de la FC alrededor de un valor fijo; no es una medición oscilométrica. Se ha eliminado del producto.
Índice de «fatiga» del firmware	Se genera a partir de la hora del día, sin ninguna entrada biométrica. No se ha implementado.
Frecuencia respiratoria	Requiere intervalos entre latidos o PPG en bruto, y la Sense no expone ninguno de los dos.
Temperatura cutánea	La pulsera no tiene termistor.
Eventos respiratorios nocturnos	Una SpO_2 aproximadamente horaria no permite contar eventos.
Análisis del ritmo cardiaco	Requiere intervalos latido a latido.

NO SE MUESTRA	MOTIVO
Seguimiento biométrico del ciclo	Requiere la curva de temperatura nocturna, así que no se ofrece en la Sense.
Detección automática de actividad y caídas	Requiere giroscopio. Las sesiones se inician a mano, lo que además evita falsos positivos.
Despierto y quieto en la cama	Sin movimiento ni uso del móvil, estar despierto no se distingue del sueño profundo. En su lugar, la app permite editar la noche.

Limitaciones conocidas

- Las fases del sueño son una estimación del firmware basada en un modelo. No equivalen a una polisomnografía con EEG. La ventana de sueño y los desvelos, que la app corrige con evidencia independiente, son la parte más robusta.
- La lectura óptica de muñeca es más precisa en reposo. En ejercicio intenso puede seguir la cadencia en lugar del corazón; los detectores del apartado 10 lo corrigen, pero no lo eliminan del todo.
- Contar pasos con un acelerómetro de 3 ejes tiene un margen de error conocido. Calibrar frente al móvil lo reduce, pero no lo anula.
- Las funciones basadas en la línea base necesitan un periodo de aprendizaje: 5 días para empezar, 14 para estar operativas y 30 para calibrarse del todo. Mientras tanto la incertidumbre es mayor, y la app lo indica.

DuckDik Sense no es un dispositivo médico. La señal temprana, la noche alterada, el burnout y el resto de avisos son herramientas de atención, no diagnósticos. Si un aviso te preocupa, consúltalo con un profesional sanitario.

---

15 Referencias

1. Mifflin MD, St Jeor ST, et al. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *Am J Clin Nutr*, 1990;51(2):241-247.
2. Brage S, et al. Branched equation modeling of simultaneous accelerometry and heart rate monitoring improves estimate of directly measured physical activity energy expenditure. *J Appl Physiol*, 2004;96(1):343-351.
3. Ainsworth BE, et al. *Compendium of Physical Activities* (valores MET).

4. Uth N, Sørensen H, Overgaard K, Pedersen PK. Estimation of VO_2max from the ratio between HRmax and HRrest. *Eur J Appl Physiol*, 2004;91(1):111-115.
5. Kline GM, et al. Estimation of VO_2max from a one-mile track walk (Rockport). *Med Sci Sports Exerc*, 1987;19(3):253-259.
6. Daniels J. *Daniels' Running Formula* (VDOT). Human Kinetics.
7. American College of Sports Medicine. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (ecuaciones metabólicas).
8. Riegel PS. Athletic records and human endurance. *American Scientist*, 1981;69(3):285-290.
9. Tanaka H, Monahan KD, Seals DR. Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol*, 2001;37(1):153-156.
10. Gabbett TJ. The training–injury prevention paradox. *Br J Sports Med*, 2016;50(5):273-280.
11. Zhang D, et al. Resting heart rate and all-cause and cardiovascular mortality in the general population: a meta-analysis. *CMAJ*, 2016;188(3):E53-E63.
12. Paluch AE, et al. Daily steps and all-cause mortality: a meta-analysis of 15 international cohorts. *Lancet Public Health*, 2022;7(3):e219-e228.
13. Windred DP, et al. Sleep regularity is a stronger predictor of mortality risk than sleep duration. *Sleep*, 2024;47(1):zsad253.
14. Cappuccio FP, et al. Sleep duration and all-cause mortality: a systematic review and meta-analysis. *Sleep*, 2010;33(5):585-592.
15. Hirshkowitz M, et al. National Sleep Foundation's sleep time duration recommendations. *Sleep Health*, 2015;1(1):40-43.
16. Shaffer F, Ginsberg JP. An overview of heart rate variability metrics and norms. *Front Public Health*, 2017;5:258.
17. Plews DJ, et al. Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes. *Sports Med*, 2013;43(9):773-781.
18. Schaufeli WB, Leiter MP, Maslach C. Burnout: 35 years of research and practice. *Career Dev Int*, 2009;14(3):204-220.
19. Gompertz B. On the nature of the function expressive of the law of human mortality. *Phil Trans R Soc Lond*, 1825;115:513-583.

© 2026 Duckdik S.L. · support@duckdik.com · duckdik.com
Este documento describe la implementación en producción a fecha de septiembre de 2026 (app 1.0.78). Las cifras pueden cambiar con actualizaciones de la app o del firmware.