

§01 · MEDIR

ES · español

TODO ESTO POR UNA GOTTA DE SANGRE.

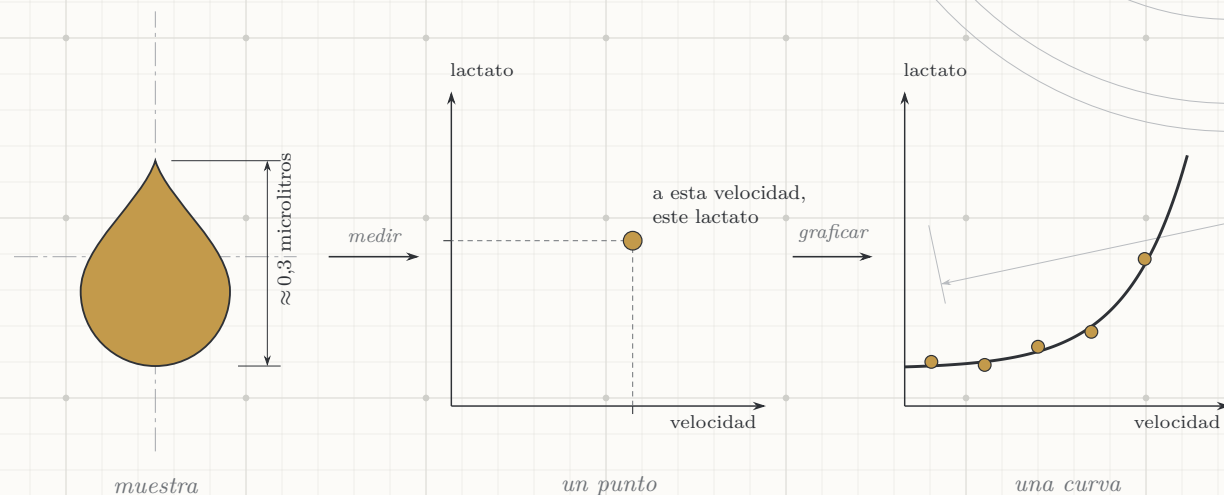
¿Qué puede decir una gota de sangre sobre cómo corro?

¿QUÉ ES EL LACTATO?

Una molécula que el cuerpo produce todo el tiempo al obtener energía de la glucosa, y en mayor cantidad cuanto más intenso es el esfuerzo. No es un desecho: músculos, corazón e hígado lo reutilizan como combustible.

¿POR QUÉ IMPORTA EN EL DEPORTE?

Su nivel en sangre refleja cuán exigente es un esfuerzo para el cuerpo. Medirlo permite encontrar los umbrales de cada deportista y definir zonas de entrenamiento a su medida.



gota $\rightarrow$ punto $\rightarrow$ curva

135

FISIOLOGÍA DEL EJERCICIO / DATOS / MODELADO MATEMÁTICO

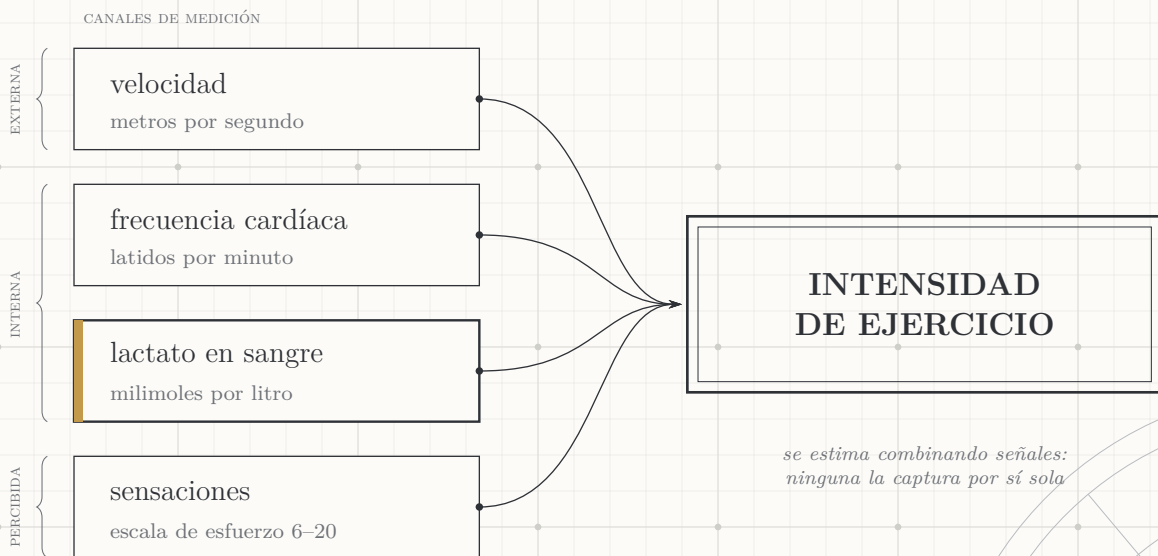
$$\{(v_i, L_i)\}_{i=1}^n \mapsto \hat{f}$$

Una medición biológica simple, transformada en información cuantitativa.

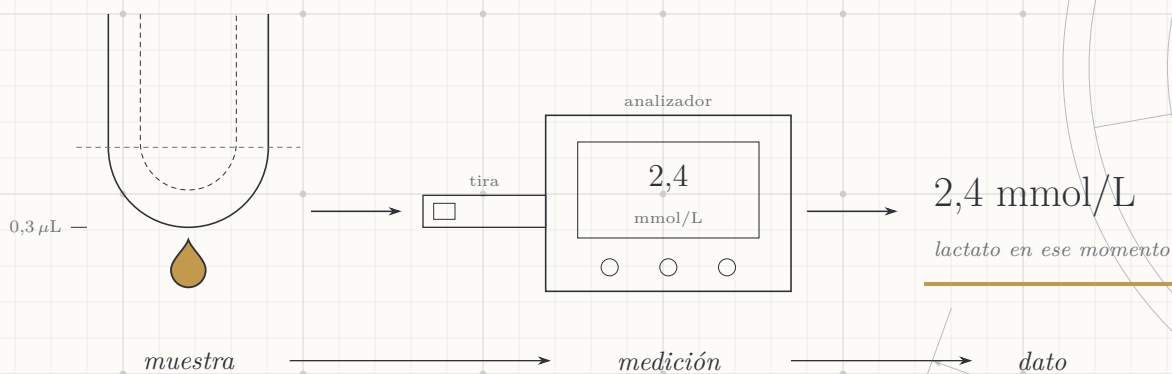
§ 02 · MEDIR

¿ESTOY REALMENTE EN LA ZONA QUE CREO?

204



ESQUEMA DE UNA PRUEBA DE LACTATO CAPILAR



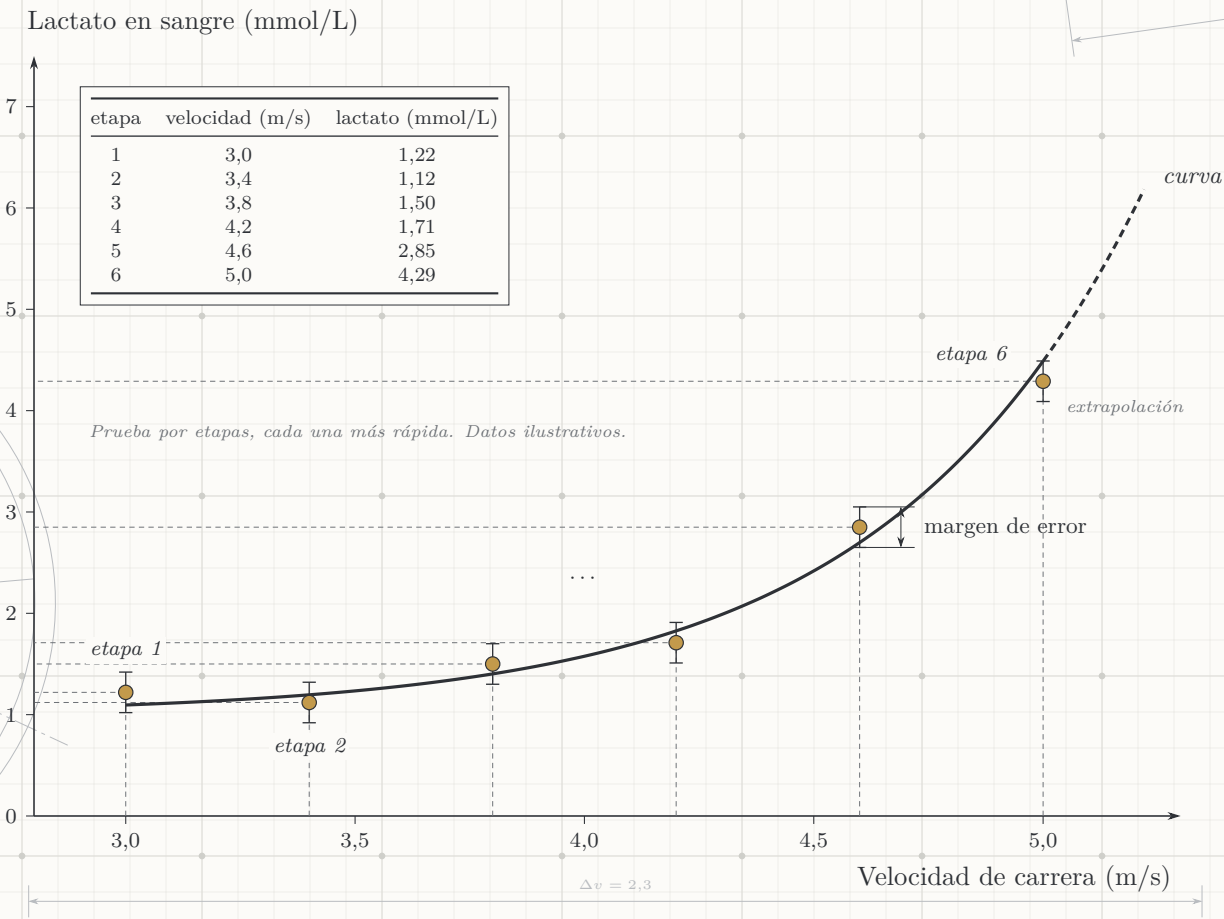
*Medir no reemplaza las sensaciones.
Las complementa.*

$$y = h(x) + \varepsilon$$

§ 03 · GRAFICAR

UNA MEDICIÓN NO DICE DEMASIADO.

Muchas mediciones empiezan a revelar un patrón.



● medición (con su margen de error)

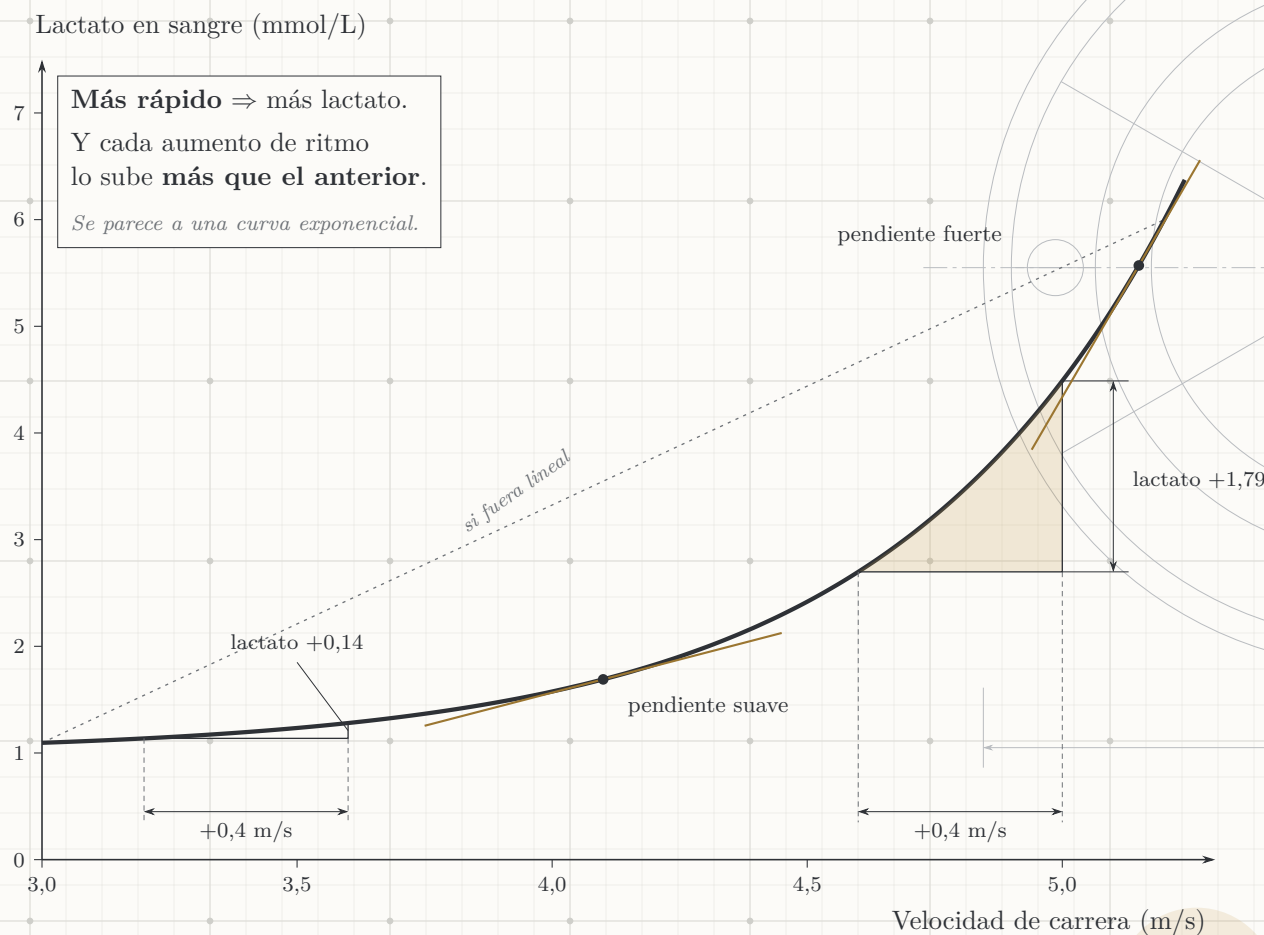
— curva que mejor pasa por los puntos

Los puntos son lo que medí; la curva es un modelo que los une.

§ 04 · MODELAR

NO ES UNA LÍNEA RECTA.

$$\frac{d^2 L}{dv^2} > 0 \Leftrightarrow \text{convexidad}$$



La respuesta del lactato suele ser curvilínea y puede modelarse matemáticamente.

En este ejemplo, subir 0,4 m/s a ritmo alto eleva el lactato unas doce veces más que a ritmo bajo.

§05 · MODELAR

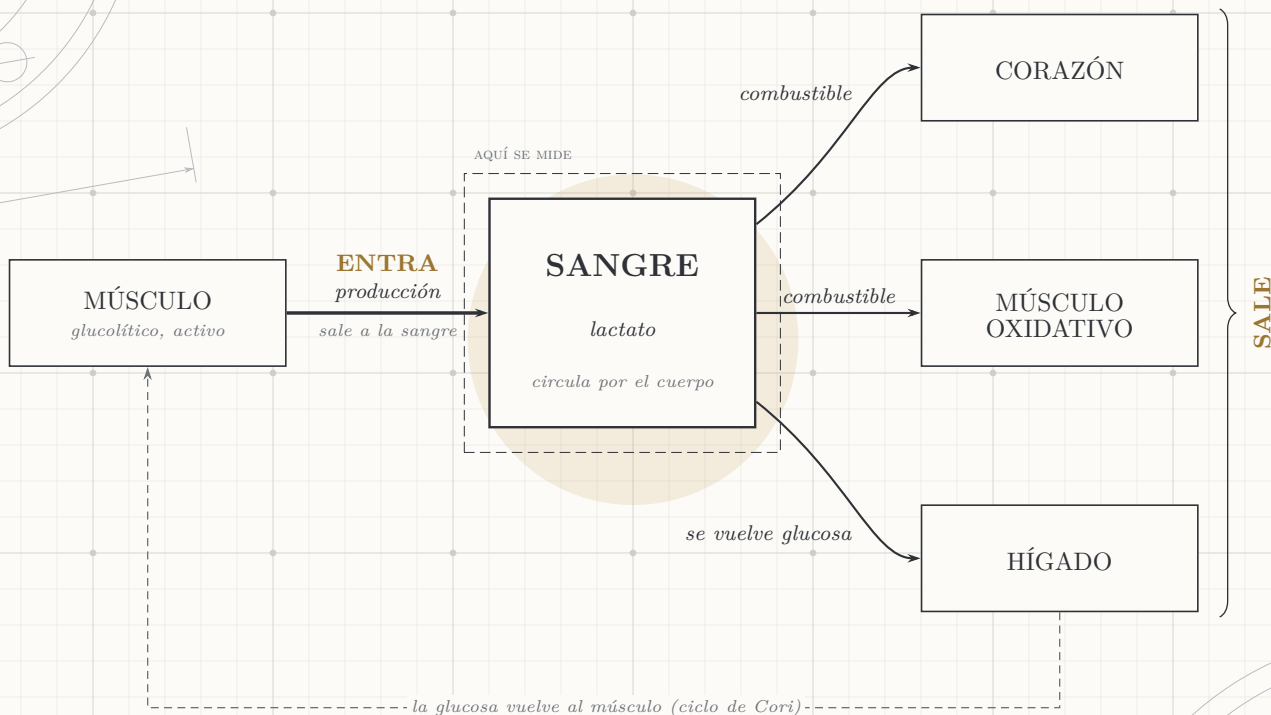
EL LACTATO NO SOLO SE PRODUCE.

También se transporta, se oxida y se reutiliza.

$$V_d \Delta[\text{Lac}] = \int_0^T (R_a - R_d) dt$$

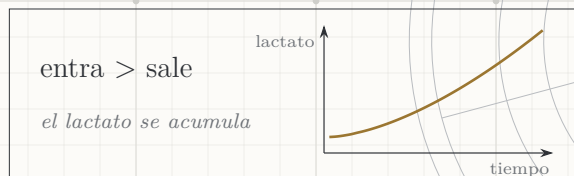
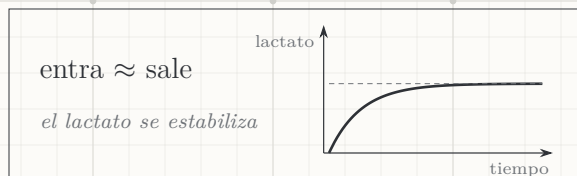
FLUJO METABÓLICO — el lactato circula: no es simplemente un desecho

Esquema simplificado: un mismo músculo puede producir y consumir lactato; otros tejidos también participan.

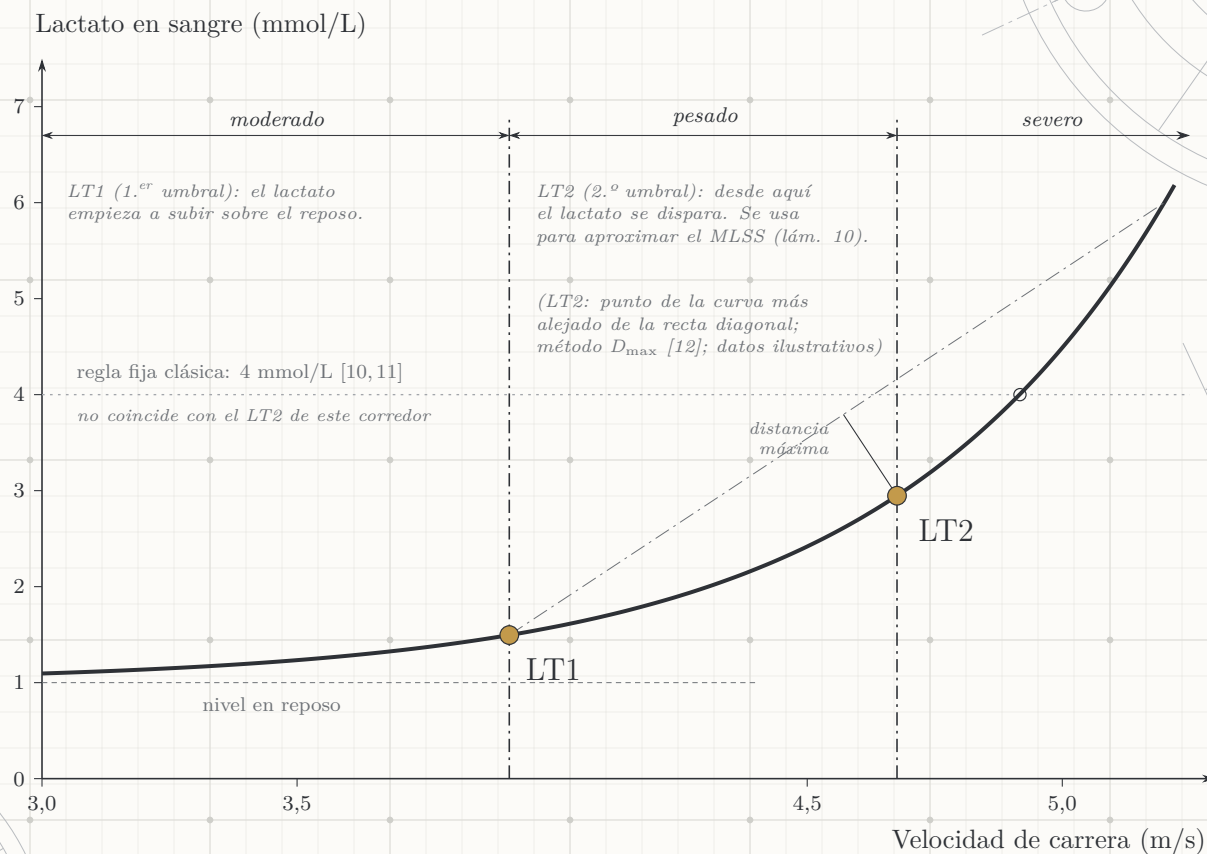


cambio del lactato en sangre = **lo que entra** — **lo que sale**

El valor que mide la gota es el saldo entre ambos flujos, no solo la producción.



§ 06 · ENTENDER

Y AQUÍ APARECEN
LOS UMBRALES.

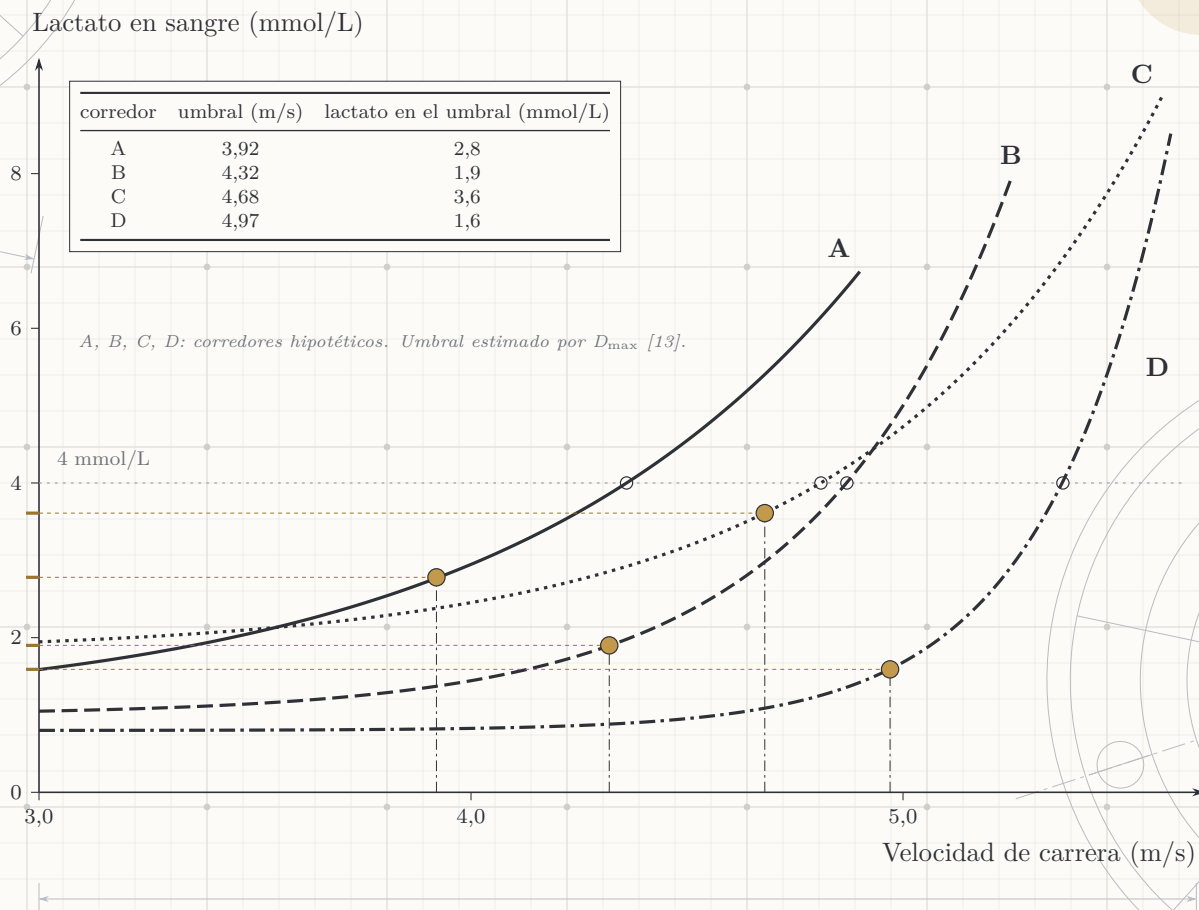
Tus umbrales dependen de tu fisiología,
de cómo se hace la prueba y del
método usado para calcularlos.

No son simplemente
«4 mmol/L».

Moderado, pesado y severo son los tres dominios de intensidad; aquí se separan con LT1 y LT2 de forma aproximada. En rigor, el paso de pesado a severo se asocia a la velocidad crítica (lám. 9) [9].

§07 · ENTENDER

EL UMBRAL ES INDIVIDUAL.

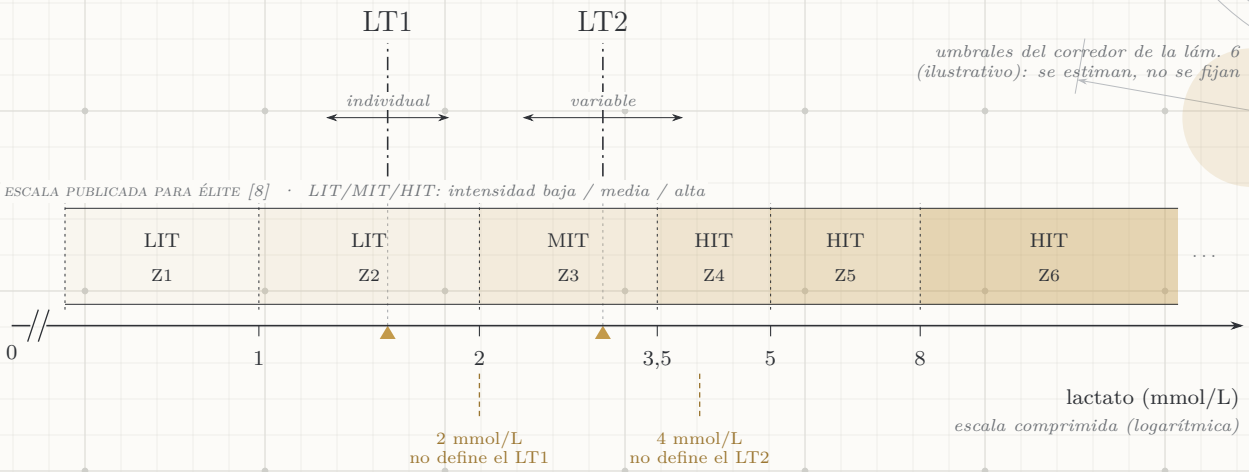


El umbral **no** es un valor fijo de lactato: cada corredor tiene el suyo.

Los círculos vacíos marcan dónde cada corredor llega a 4 mmol/L; los llenos, su umbral real. En ninguno coinciden, y la distancia entre ambos cambia mucho de un corredor a otro.

§ 08 · ENTENDER

¿CÓMO SE TRADUCE EL LACTATO EN ENTRENAMIENTO?



Zona	Lactato (mmol/L)	Ritmo típico*	Métodos típicos
Z1 · LIT	< 1,0	—	calentamiento y vuelta a la calma; fondos suaves
Z2 · LIT	1,0–2,0	—	fondos largos, cuestras, progresivos
Z3 · MIT	2,0–3,5	(media) maratón	rodajes e intervalos de umbral, fartlek
Z4 · HIT	3,5–5,0	10 000 m	intervalos a VO ₂ máx [†] , cuestras
Z5 · HIT	5,0–8,0	1500–5000 m	intervalos a VO ₂ máx [†] , competencias
Z6 · HIT	> 8,0	800–1500 m	«tolerancia al lactato» (término de entrenamiento), cuestras

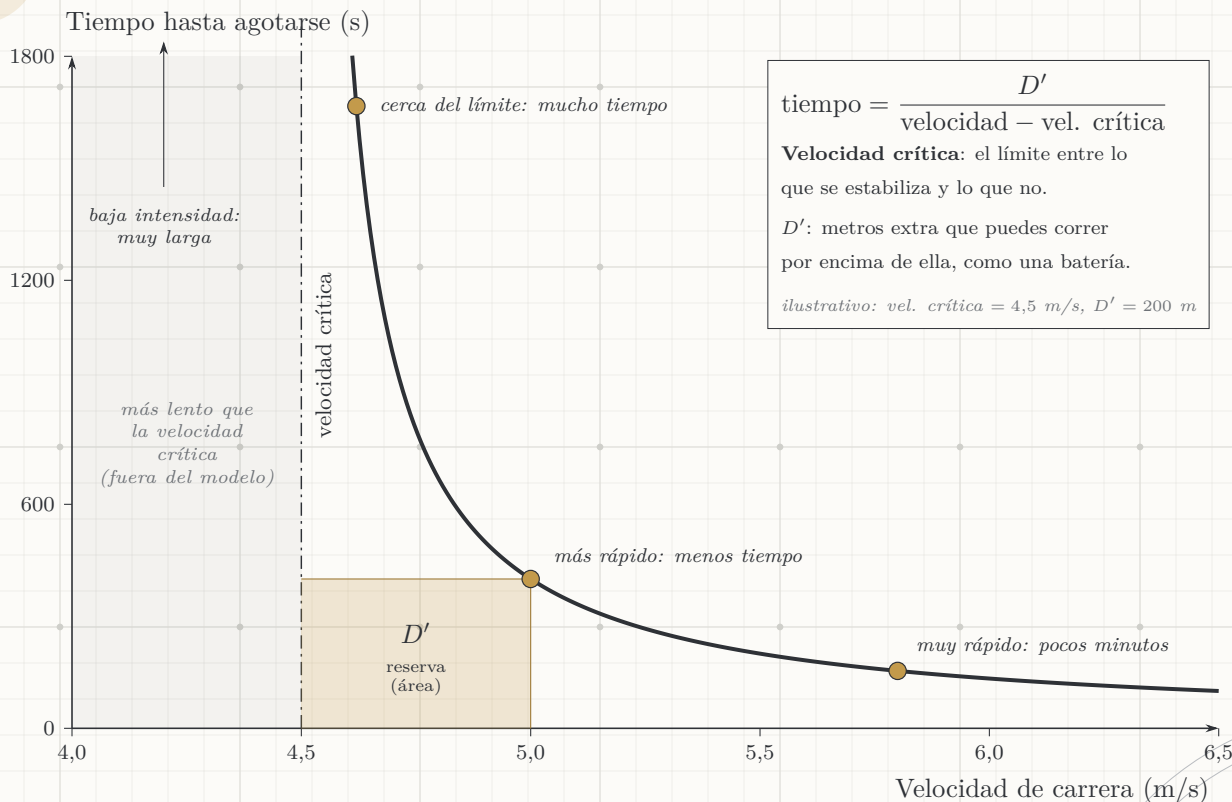
Adaptado de la tabla 3 de [8], descrita para corredores de fondo de élite mundial como guía de entrenamiento; lactato: valores típicos normativos en sangre con eritrocitos lisados (Z7: sprints de 60–400 m, sin rango de lactato). * Intensidad típica asociada en esta clasificación; no implica que cada distancia se corra a una única concentración: el lactato en competición varía según el atleta, la duración, el ritmo, el momento de muestreo y el protocolo. † VO₂máx: ritmo al que se alcanza el consumo máximo de oxígeno.

Los rangos son valores descriptivos de referencia. Las zonas individuales deben determinarse a partir de la respuesta fisiológica del atleta. Ej.: el corredor de la lám. 6 tiene su LT2 en ≈2,9 mmol/L; para él, la Z4 (3,5–5,0) ya estaría sobre su LT2.

§09 · ENTENDER

¿CUÁNTO TIEMPO PUEDES SOSTENER UNA INTENSIDAD?

$$D' = (v - CS) t_{\text{lim}}$$



Si la velocidad se acerca a la crítica, el modelo predice un tiempo infinito.

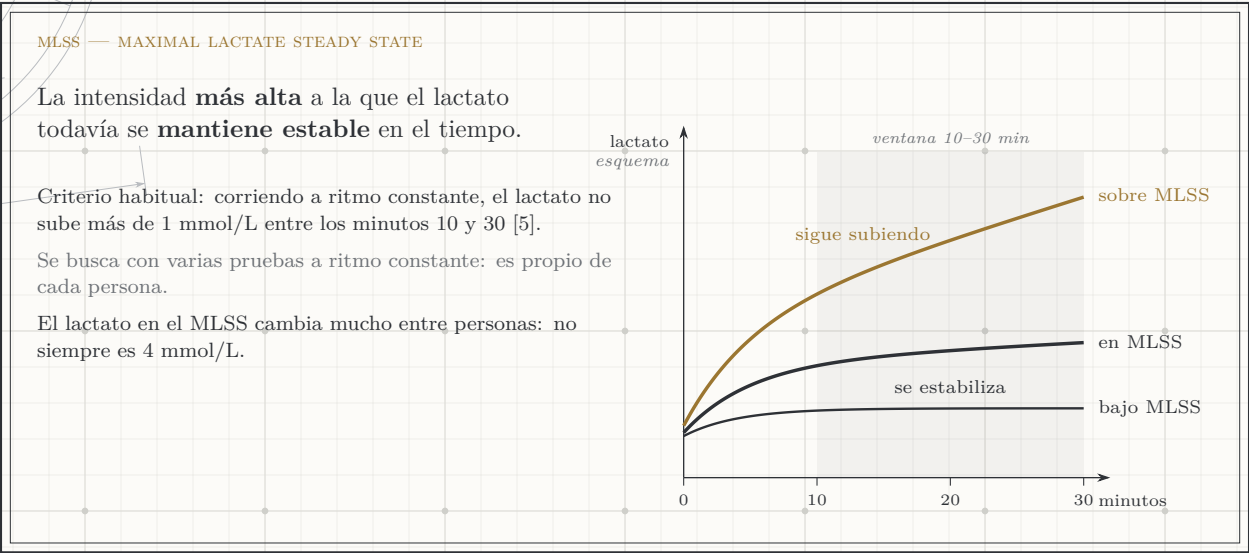
es un límite matemático, no una promesa fisiológica

En la práctica, nadie corre para siempre a esa velocidad.

Nota: esta curva (una hipérbola) es el modelo tradicional velocidad-duración [6, 9]. Se ajusta con esfuerzos al máximo de ~2-15 min [7, 9]; fuera de ese rango es extrapolación. La velocidad crítica se propone como el límite entre los dominios pesado y severo [9]; aun así, ningún ritmo se sostiene para siempre [9].

§ 10 · ENTENDER

MLSS: MÁXIMO ESTADO ESTABLE DE LACTATO.



Intensidad →	Qué hace el lactato →	Dominio →	Cuánto se aguenta
bajo LT1	casi como en reposo	moderado	muchísimo
LT1–LT2	más alto, pero se estabiliza	pesado	mucho
≈ MLSS	el nivel estable más alto posible (según el protocolo)	límite de lo estable	bastante, pero no infinito
sobre vel. crítica	no se estabiliza: sigue subiendo	severo	minutos (lám. 9)

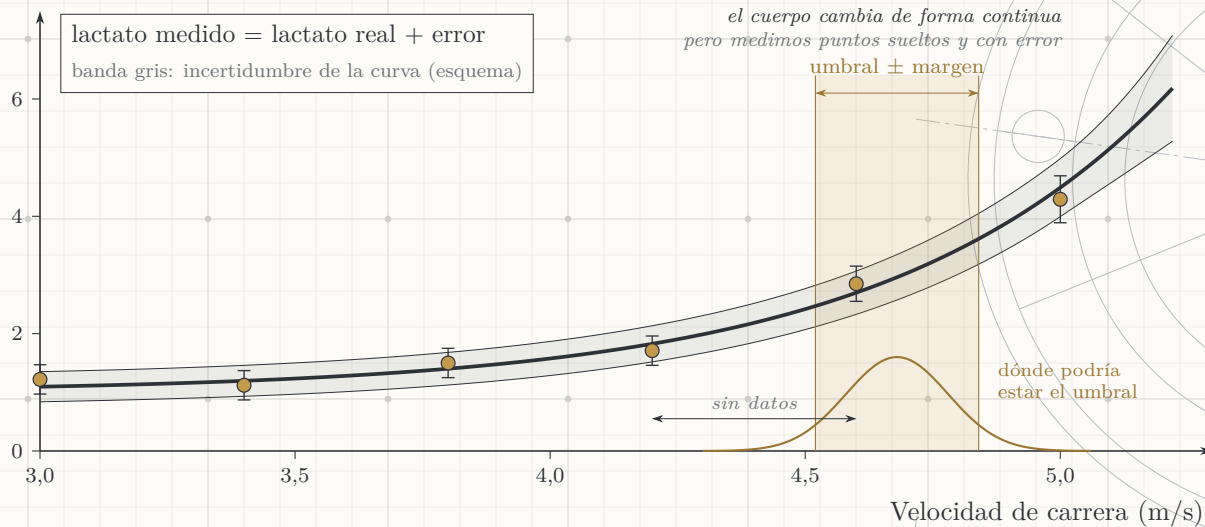
LT2, MLSS y velocidad crítica son ideas cercanas pero distintas: se miden con pruebas y modelos diferentes. La velocidad crítica suele estar cerca del MLSS, pero no son lo mismo [9]; la relación exacta sigue en discusión [4].

§ 11 · CUESTIONAR

PERO HAY UN PROBLEMA.

$$\sigma_i^2 = \text{Var}(\varepsilon_i)$$

Lactato en sangre (mmol/L)



error del instrumento

muestreo (sitio, momento)

variabilidad biológica (entre días)

protocolo (etapas, incrementos)

datos

modelo

umbral ± margen

selección del modelo

método de definición del umbral

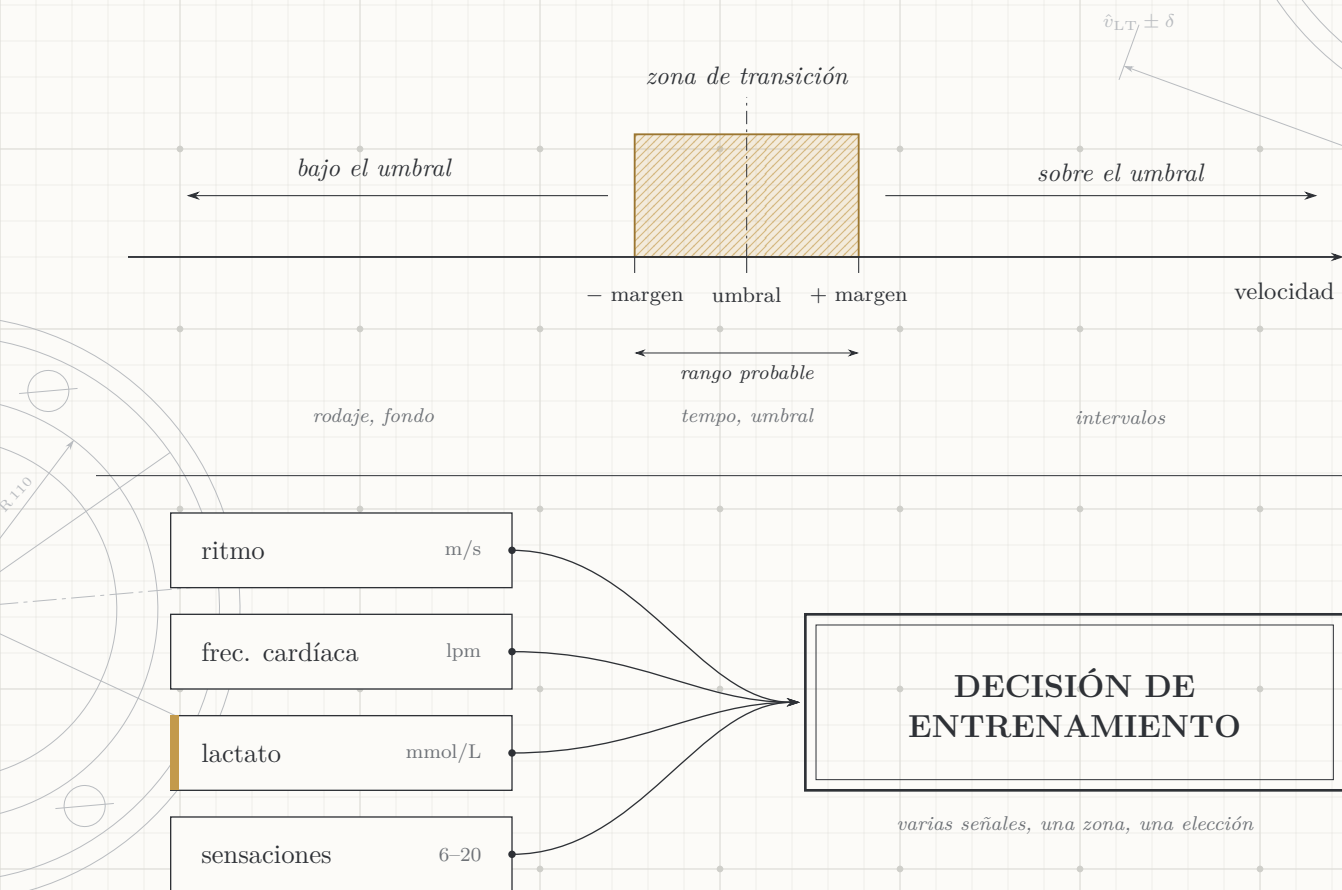
umbral = datos + modelo + método

La fisiología es continua; el modelo introduce una estimación.

NO ESTOY MIDIENDO «EL UMBRAL». ESTOY ESTIMÁNDOLO.

§ 12 · APLICAR

ENTONCES, ¿PARA QUÉ MEDIR?



*No persigo un punto exacto.
Entreno respetando una zona.*

incertidumbre no significa datos inútiles

La incertidumbre no invalida la medición: cambia cómo debe interpretarse. Medir sirve porque permite construir mejores modelos de un sistema biológico complejo, no porque entregue números perfectos.

proyecto
 $n + 1$

§ 14 · BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS

- [1] Stegmann, H., Kindermann, W. & Schnabel, A. (1981). Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med*, 2(3), 160–165. doi:10.1055/s-2008-1034604
- [2] Brooks, G. A. (1986). The lactate shuttle during exercise and recovery. *Med Sci Sports Exerc*, 18(3), 360–368. doi:10.1249/00005768-198606000-00019
- [3] Brooks, G. A., Arevalo, J. A., Osmond, A. D., Leija, R. G., Curl, C. C. & Tovar, A. P. (2022). Lactate in contemporary biology: a phoenix risen. *J Physiol*, 600(5), 1229–1251. doi:10.1113/JP280955
- [4] Faude, O., Kindermann, W. & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Med*, 39(6), 469–490. doi:10.2165/00007256-200939060-00003
- [5] Beneke, R. (2003). Methodological aspects of maximal lactate steady state—implications for performance testing. *Eur J Appl Physiol*, 89(1), 95–99. doi:10.1007/s00421-002-0783-1
- [6] Hill, D. W., Vingren, J. L., Nakamura, F. Y. & Kokobun, E. (2011). Relationship between speed and time in running. *Int J Sports Med*, 32(7), 519–522. doi:10.1055/s-0031-1275298
- [7] Billat, V., Renoux, J. C., Pinoteau, J., Petit, B. & Koralsztein, J. P. (1995). Times to exhaustion at 90, 100 and 105 % of velocity at $\dot{V}O_{2\max}$ (maximal aerobic speed) and critical speed in elite long-distance runners. *Arch Physiol Biochem*, 103(2), 129–135. doi:10.3109/13813459508996126
- [8] Haugen, T., Sandbakk, Ø., Seiler, S. & Tønnessen, E. (2022). The training characteristics of world-class distance runners: an integration of scientific literature and results-proven practice. *Sports Med Open*, 8(1), 46. doi:10.1186/s40798-022-00438-7
- [9] Poole, D. C., Burnley, M., Vanhatalo, A., Rossiter, H. B. & Jones, A. M. (2016). Critical power: an important fatigue threshold in exercise physiology. *Med Sci Sports Exerc*, 48(11), 2320–2334. doi:10.1249/MSS.0000000000000939
- [10] Heck, H., Mader, A., Hess, G., Mücke, S., Müller, R. & Hollmann, W. (1985). Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med*, 6(3), 117–130. doi:10.1055/s-2008-1025824
- [11] Sjödin, B. & Jacobs, I. (1981). Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sports Med*, 2(1), 23–26. doi:10.1055/s-2008-1034579
- [12] Bishop, D., Jenkins, D. G. & Mackinnon, L. T. (1998). The relationship between plasma lactate parameters, W_{peak} and 1-h cycling performance in women. *Med Sci Sports Exerc*, 30(8), 1270–1275. doi:10.1097/00005768-199808000-00014
- [13] Cheng, B., Kuipers, H., Snyder, A. C., Keizer, H. A., Jeukendrup, A. & Hesselink, M. (1992). A new approach for the determination of ventilatory and lactate thresholds. *Int J Sports Med*, 13(7), 518–522. doi:10.1055/s-2007-1021309
- [14] Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc*, 14(5), 377–381. doi:10.1249/00005768-198205000-00012

Los números entre corchetes al pie de cada lámina remiten a esta lista. Los datos de las figuras son ilustrativos; los rangos de lactato son valores descriptivos de referencia, no constantes biológicas universales.