



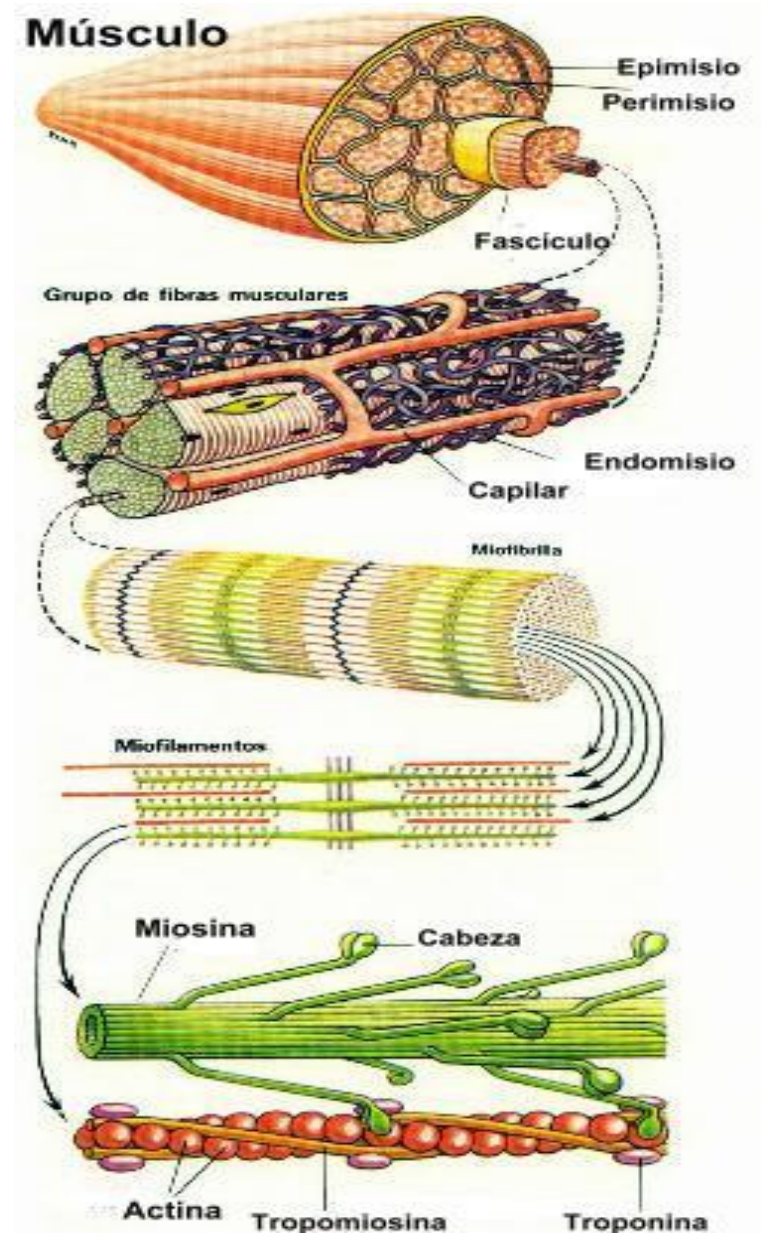
RESPUESTAS Y ADAPTACIONES HEMATOLOGICAS AL EJERCICIO FISICO

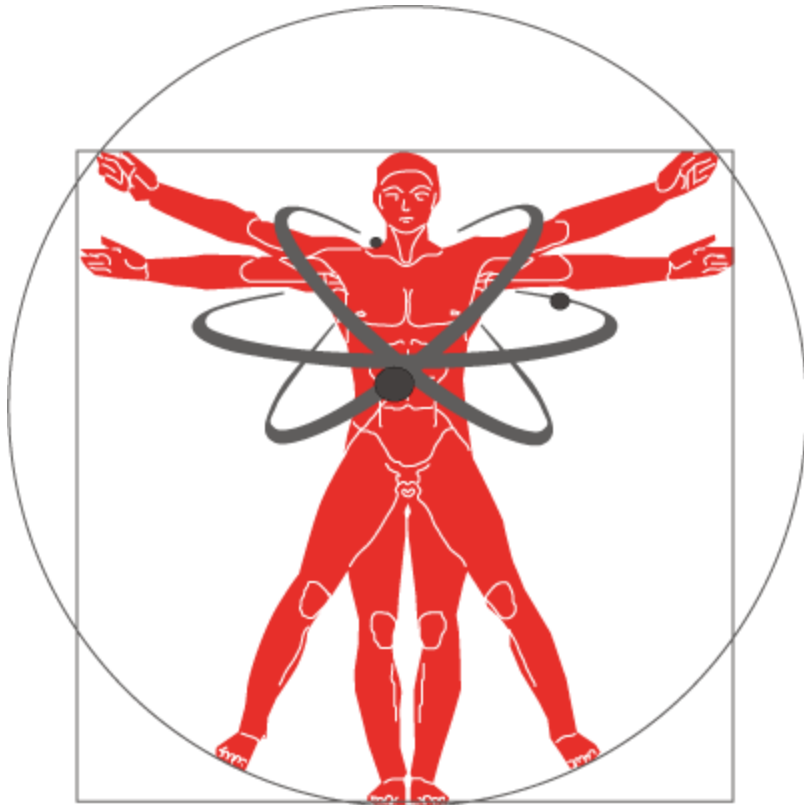
SERIE ROJA

*José Carlos Giraldo T. MD
Esp. Medicina Deportiva
Mg en Fisiología*

*Carlos Eduardo Nieto G. MD
Esp. Medicina Deportiva
Esp. Salud Ocupacional*

Para realizar actividad física y ejercicio es imprescindible la intervención de la musculatura esquelética del organismo.

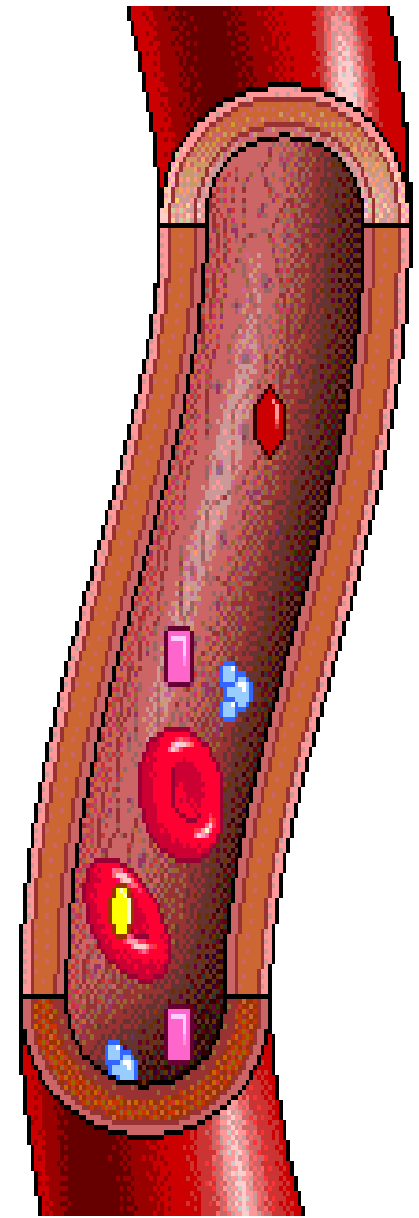




Para que las células musculares puedan desempeñar su función correctamente es necesario un mantenimiento de la **homeostasis del medio interno.**

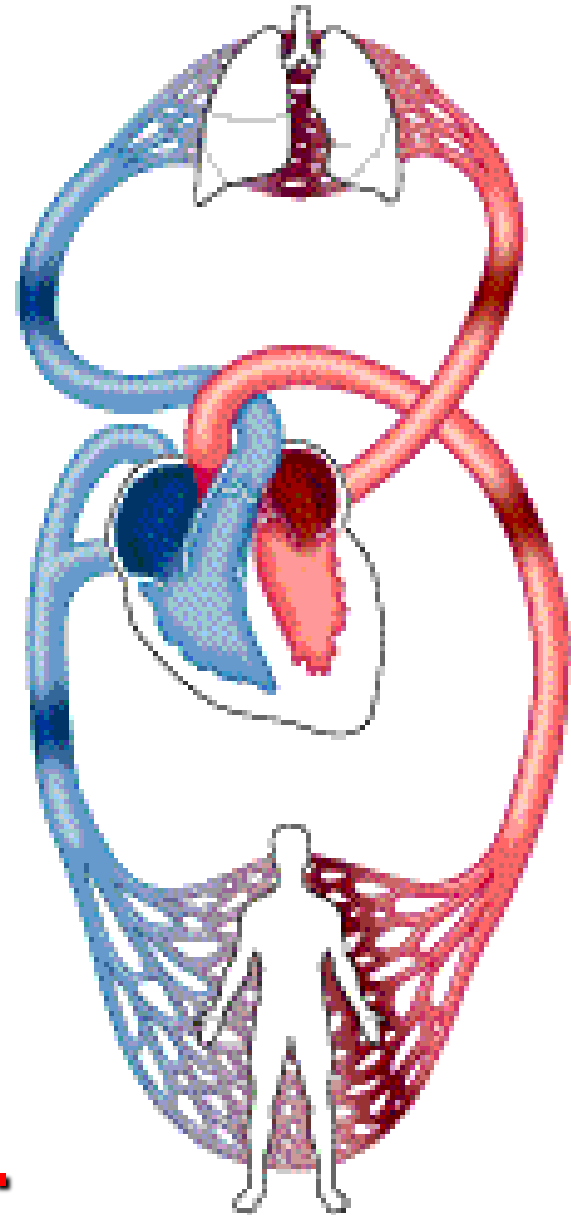
Representa un gran desafío para
la **circulación** sanguínea y en
especial para la sangre o **tejido**
Sanguíneo

MANTENER LA HOMEOSTASIS

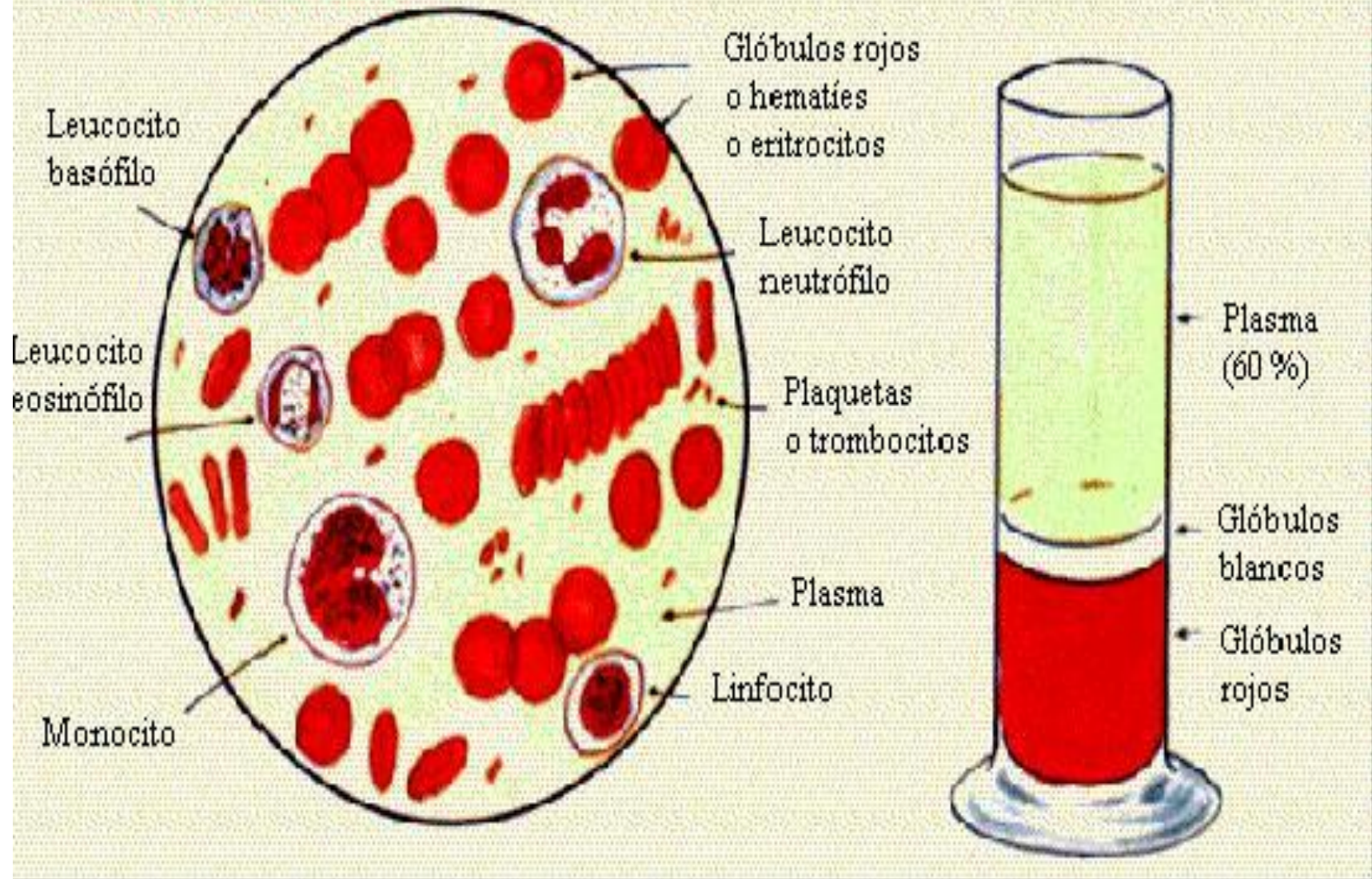


Sangre = tejido líquido,
= suspensión de células
en un espacio
intercelular líquido o
plasma sanguíneo.

Sistema cardiocirculatorio.



Composición de la sangre



Las funciones de la sangre en el ejercicio físico son numerosas:

- ✓ Transporte de gases:
- ✓ Transporte y aporte de sustancias nutritivas:
- ✓ Transporte de productos de desecho:
- ✓ Transporte de hormonas:
- ✓ Funciones inmunológicas:
- ✓ Mecanismos de la hemostasia:
- ✓ Transporte de calor:

(Sólo el 25-40% de la energía se aprovecha en forma de energía mecánica)

La actividad física, las condiciones ambientales, los traumatismos o la enfermedad, son factores importantes que influyen en los volúmenes vasculares.

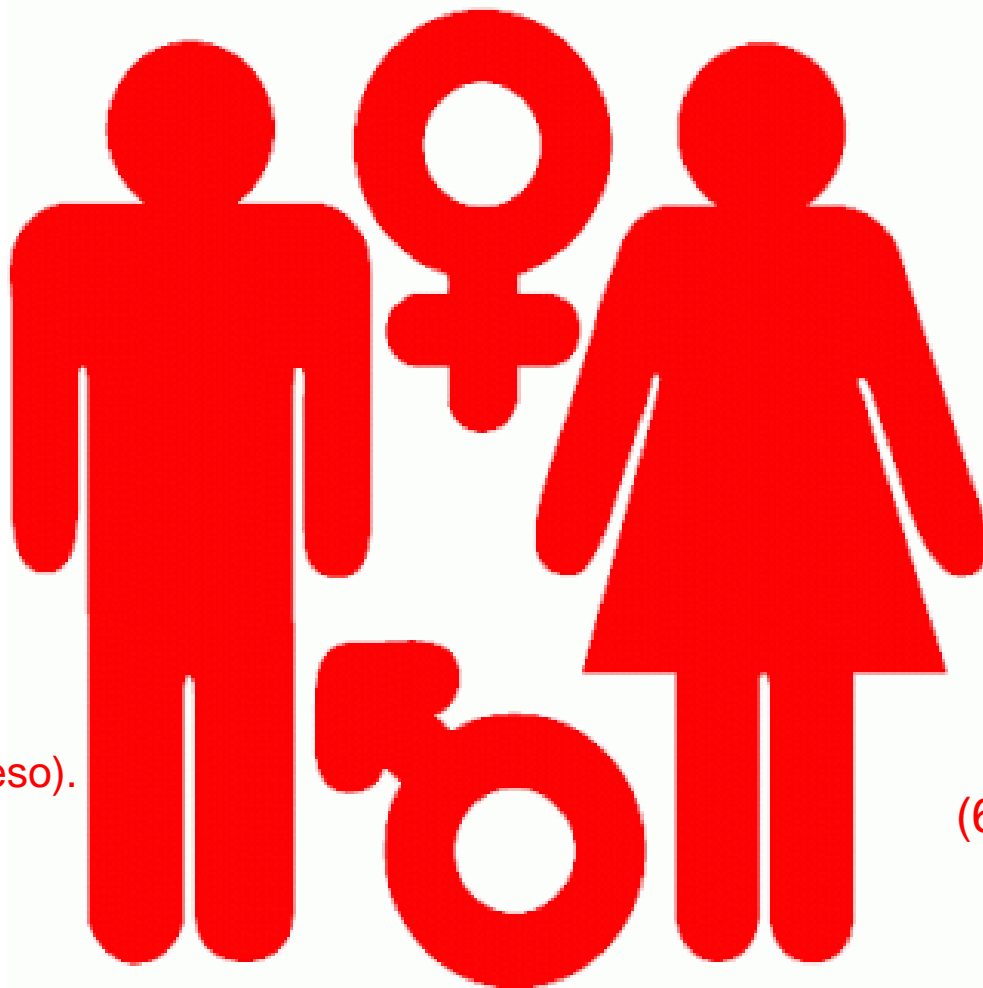
La administración de EPO provoca una mejora del rendimiento deportivo provocando un aumento de las células rojas de la sangre.
"Dopaje Sanguíneo"

VOLUMEN SANGUÍNEO

El 6-8%
del peso
corporal

5-6 litros

(71 cc/kg de peso).



El 5,5 -7 %. del
peso corporal

4 - 4,5 litros

(65 cc/kg de peso).

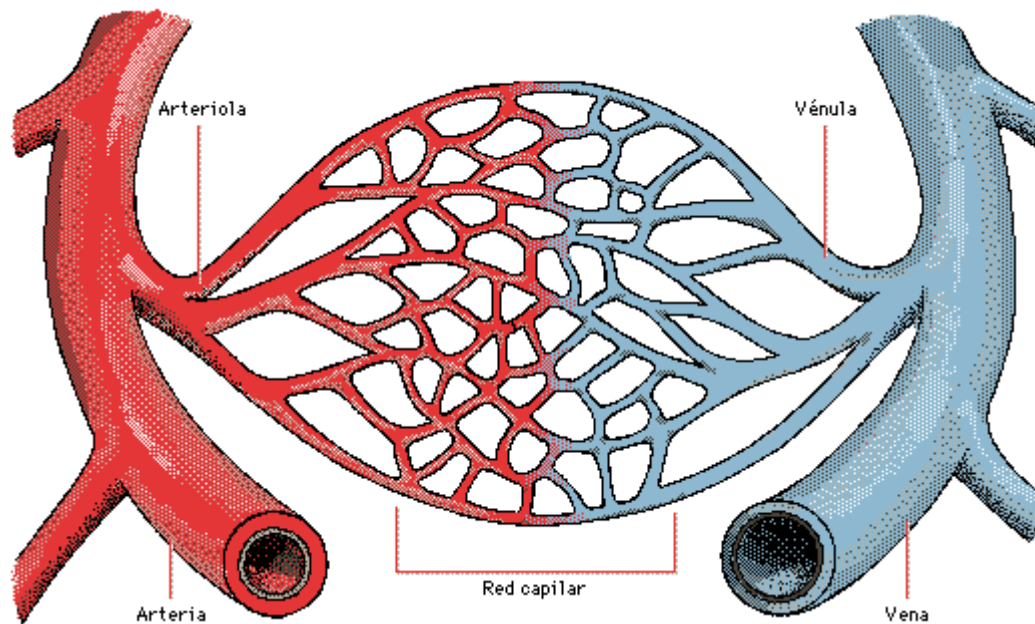
En los niños, se consideran normales valores de **75 cc/kg** de peso.



Recién nacidos de 3 kg es de unos **250 mL.**

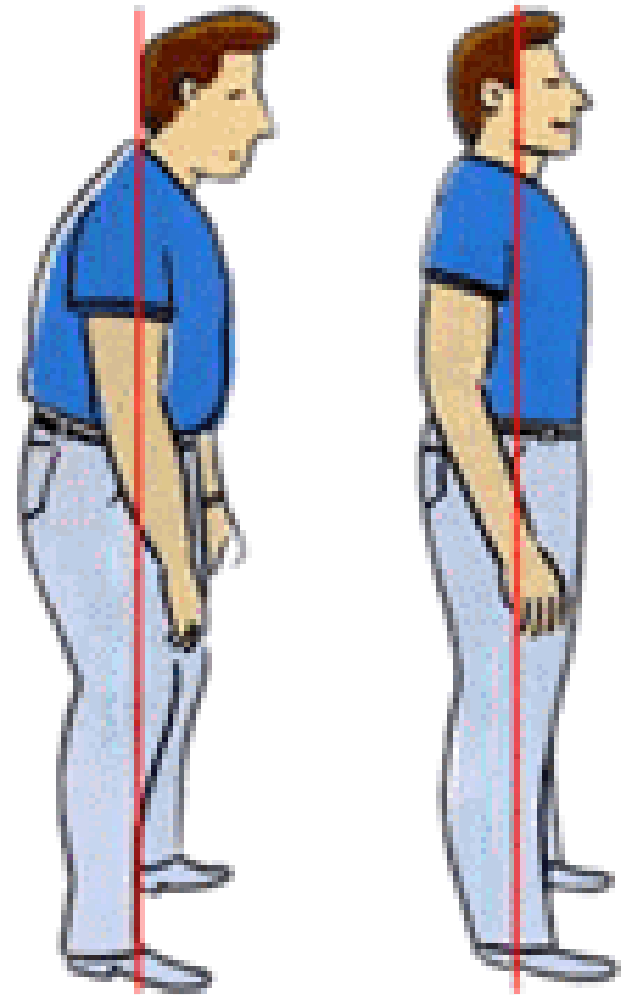
Las mediciones de la volemia se relaciona con la superficie corporal. (ideal)

1. El **65-75%** de la sangre se halla en el sistema venoso
2. El 15-20% en las arterias
3. El 5-7,5% en los capilares.



La postura influye sobre la volemia (en general, se mide en decúbito)

En bipedestación, el volumen plasmático disminuye en un 15%, en beneficio del líquido intersticial.



El plasma sanguíneo o líquido intercelular de la sangre constituye aproximadamente el 55% del volumen de sangre total,

compuesto por:

- ✓ Agua en un 91%
- ✓ Coloides y cristaloides en solución en un 9%.

La concentración de proteínas en el plasma es del 6-8%. = 60-80 gramos/litro, constituido fundamentalmente por tres tipos de proteínas:

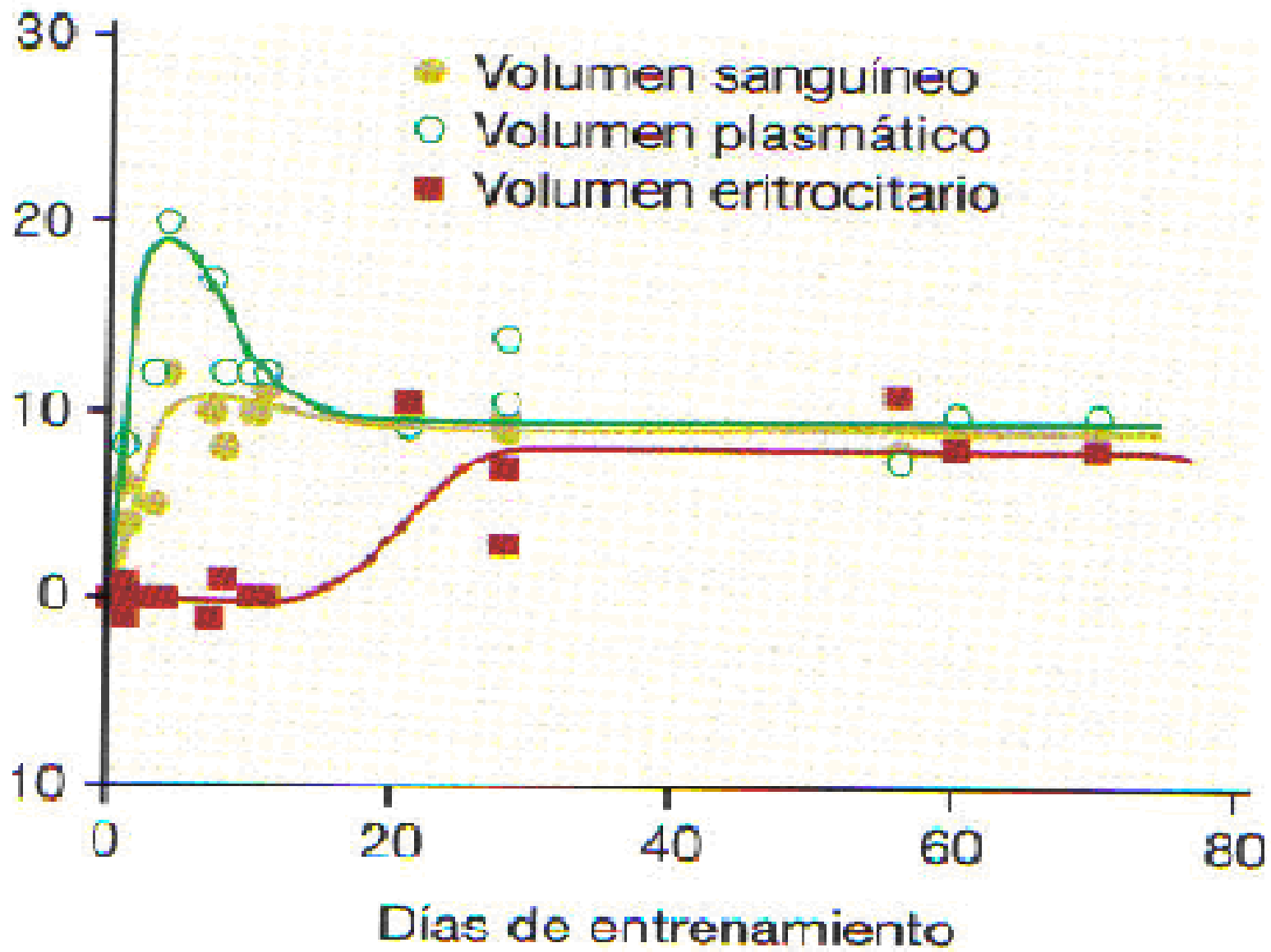
1. La albúmina (4,8%).
2. Las globulinas (2,3%).
3. El fibrinógeno (0,3%).

Modificaciones en el volumen plasmático

- ◆ El volumen sanguíneo es la suma del volumen eritrocitario y volumen plasmático. Pueden cambiar de forma independiente y alterar el volumen de sangre.
- ◆ Volumen eritrocitario aumenta en días o meses de entrenamiento y el volumen plasmático aumenta en horas de entrenamiento.
- ◆ Principal factor regulador de producción de hematíes es la EPO.
- ◆ El factor regulador del volumen plasmático es el volumen extracelular, proteínas circulantes y resistencia capilar.

◆ Volumen sanguíneo mayor en personas entrenadas que no entrenadas, es similar entre hombres y mujeres, sin importar la edad.

◆ El entrenamiento tiene como consecuencia aumento en el volumen plasmático y una concentración en el volumen eritrocitario.

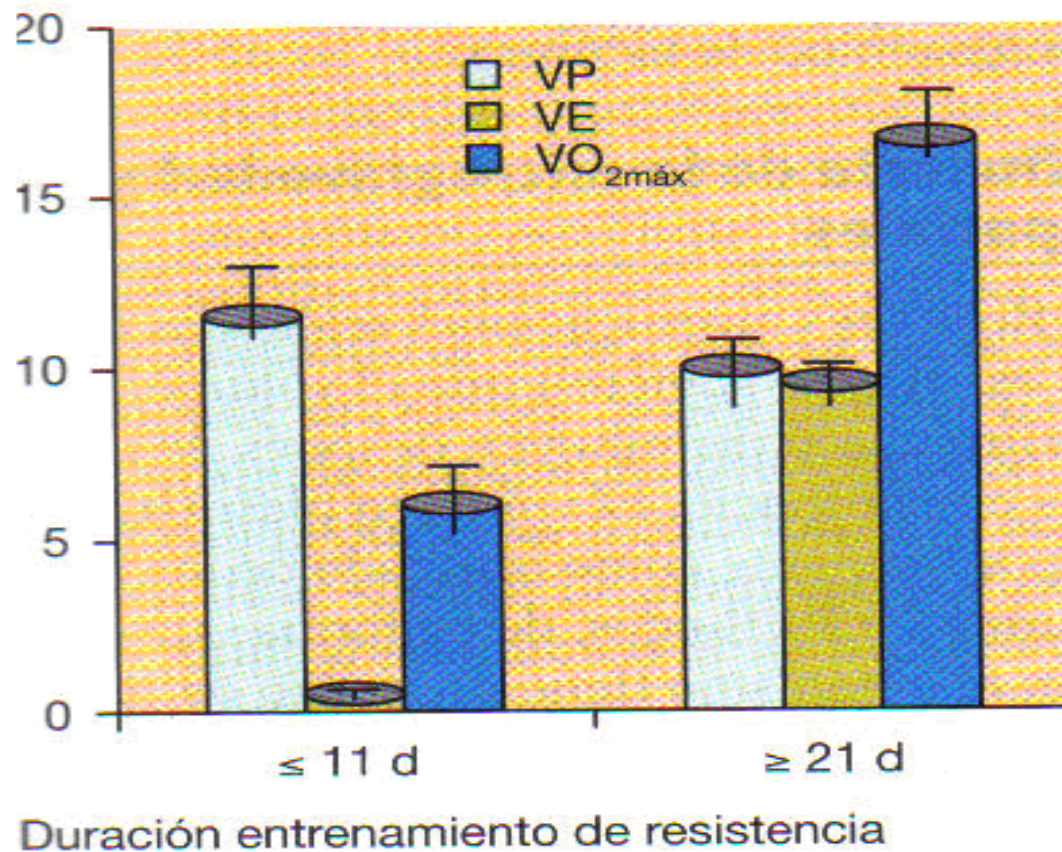


EFECTOS SOBRE EL RENDIMIENTO

La adaptación del volumen sanguíneo influye en el incremento del VO_2max . La justificación probable de este hecho es la duración del entrenamiento.

11 días de entrenamiento.

- ❖ Expansión volumen plasmático 11%.
- ❖ Volumen eritrocitario normal.
- ❖ Aumento del VO_2max 6%.



21 días de entrenamiento.

- ❖ Expansión del volumen plasmático 10%.
- ❖ Expansión volumen eritrocitario 9%.
- ❖ Incremento del VO₂max 16%.

Aumento
de la
temperatura

→ vasodilatación

↑ Volumen plasmático.
La Volemia.



Hipotermia => vasoconstricción

↓ Volumen plasmático.
La Volemia.

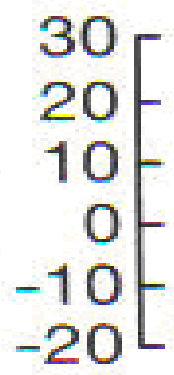
INFLUENCIA DEL CALOR Y LA TERMORREGULACIÓN

La exposición al calor aumenta la temperatura corporal que causa como respuesta termorreguladora la sudoración, la cual provoca cambios en el volumen sanguíneo.

La expansión del volumen sanguíneo mejora el rendimiento en climas calurosos, debido a la aclimatación e hidratación.

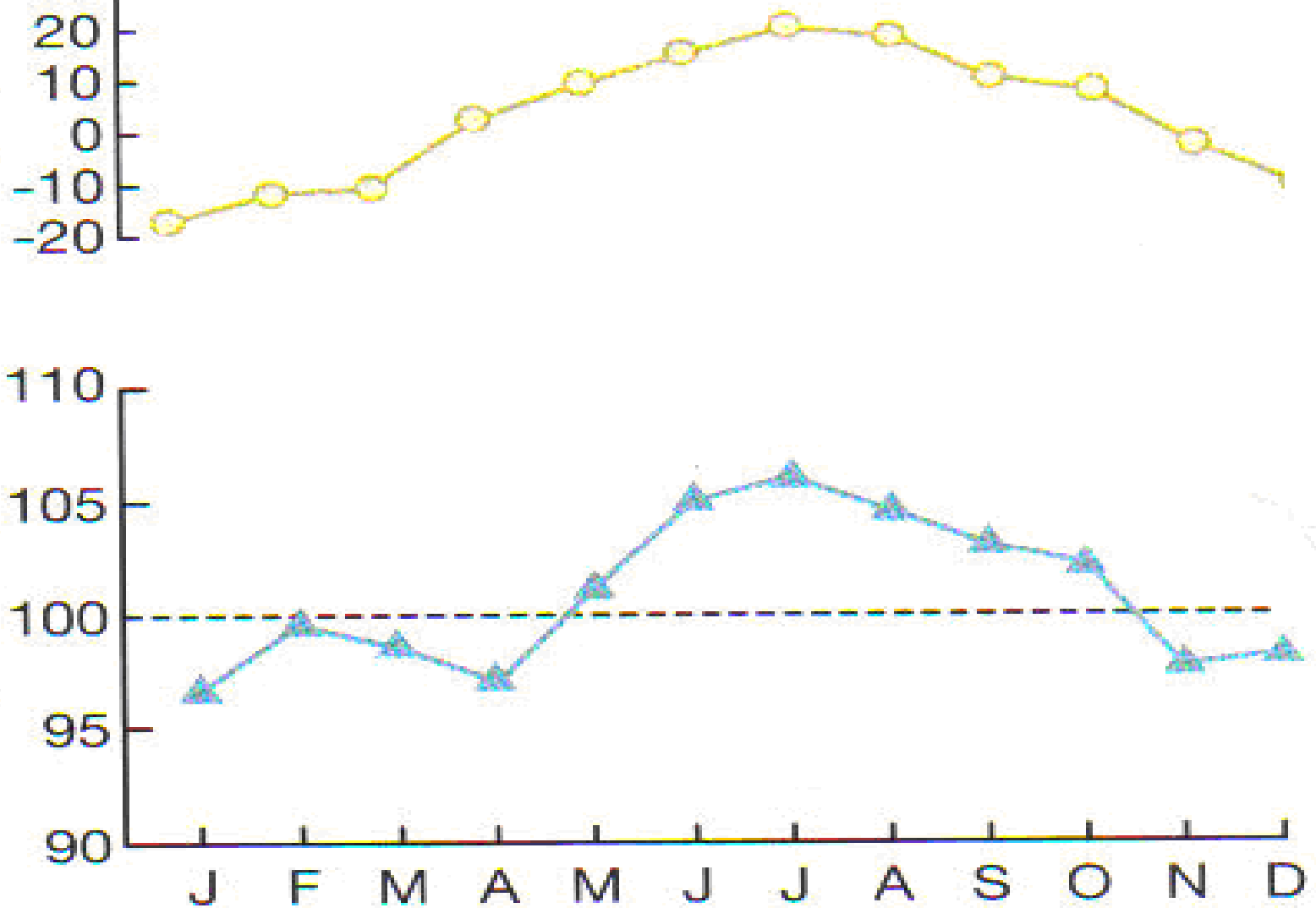
En los meses del año de más calor el volumen plasmático aumenta 5% y en los meses de frío disminuye un 3% (*Doupe, 1957*) (*ver fig*)

Temperatura ambiente
(°C)



J F M A M J J A S O N D

Meses



INFLUENCIA DE LA HIPOHIDRATACIÓN

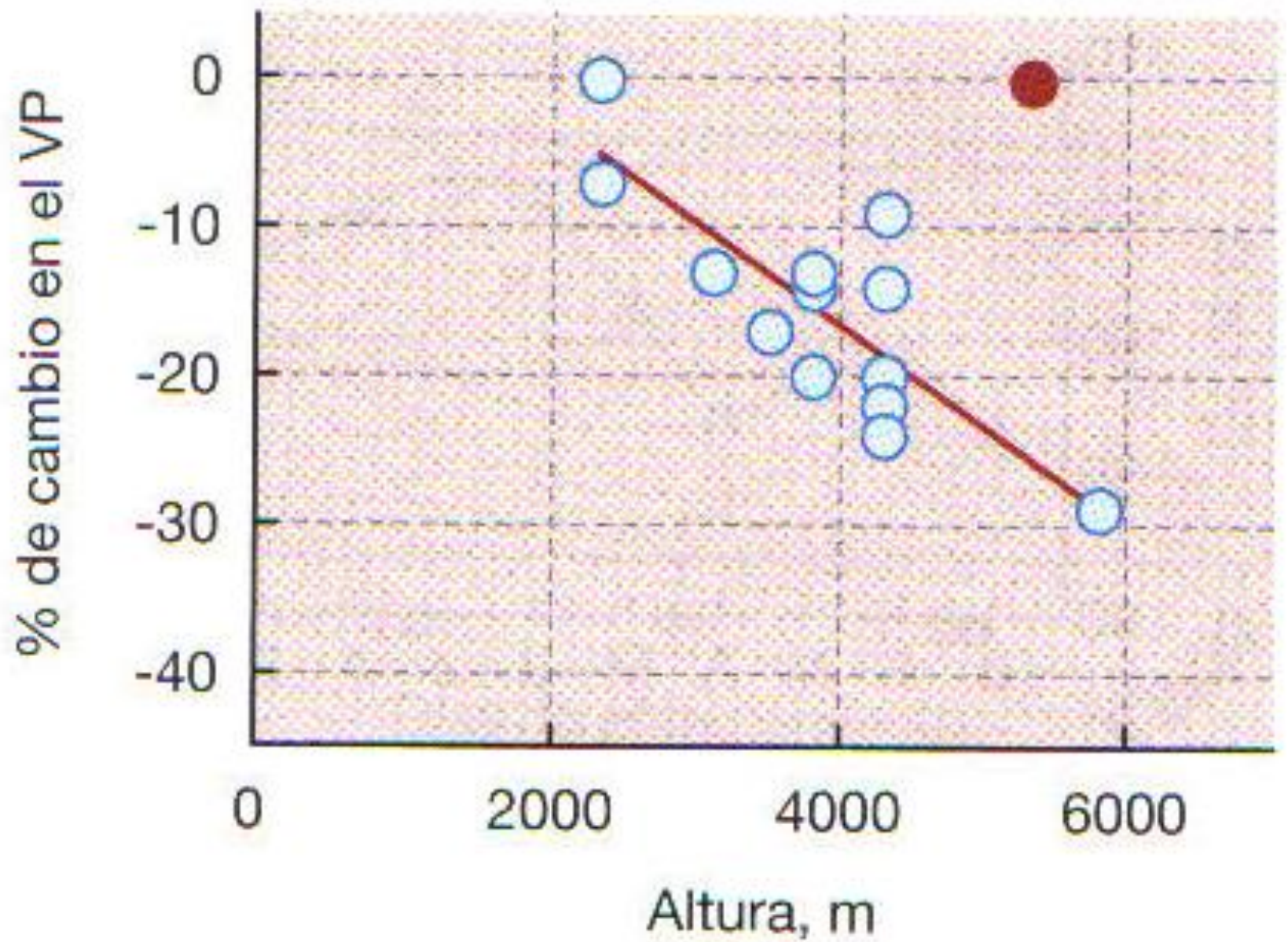
- ✿ La poca hidratación y la sudoración disminuyen el volumen plasmático y aumentan la osmolaridad.
- ✿ El aumento de la osmolaridad es debido al cloro y el sodio.
- ✿ Se incrementa el trabajo termorregulador y cardiovascular del organismo.

INFLUENCIA DE LA ALTITUD

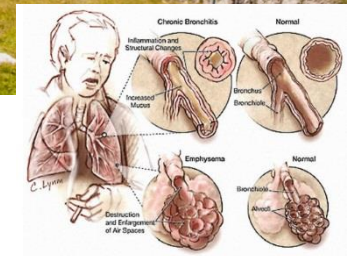
Las personas que viven en grandes alturas tienen un volumen sanguíneo superior a los que viven a nivel del mar, debido a un mayor volumen eritrocitario.

El entrenamiento en grandes alturas (>2000m) provoca una disminución en el volumen plasmático, por lo tanto produce una hemoconcentración (*ver fig*).

Exponerse por varios meses a la altura podría aumentar el volumen eritrocitario y justificar el efecto ergogénico de la ALTURA.



Poliglobulia



INFLUENCIA DE LA MICROGRAVEDAD Y VIAJES ESPACIALES



INFLUENCIA DE LA MICROGRAVEDAD Y VIAJES ESPACIALES

El volumen plasmático y eritrocitario disminuye después de cortas estancias en el espacio.

El volumen plasmático disminuye por el cambio de fluidos → ACT y PVC menores → barorreceptores y osmorreceptores regulados a la baja → disminución en la sensibilidad renal a la ADH y a la aldosterona.

El volumen eritrocitario disminuye por la destrucción de células rojas y poca producción de hematíes nuevos (*Sawka, 2000*).

MECANISMOS RELACIONADOS CON LAS RESPUESTAS Y ADAPTACIONES EN EL VOLUMEN PLASMÁTICO

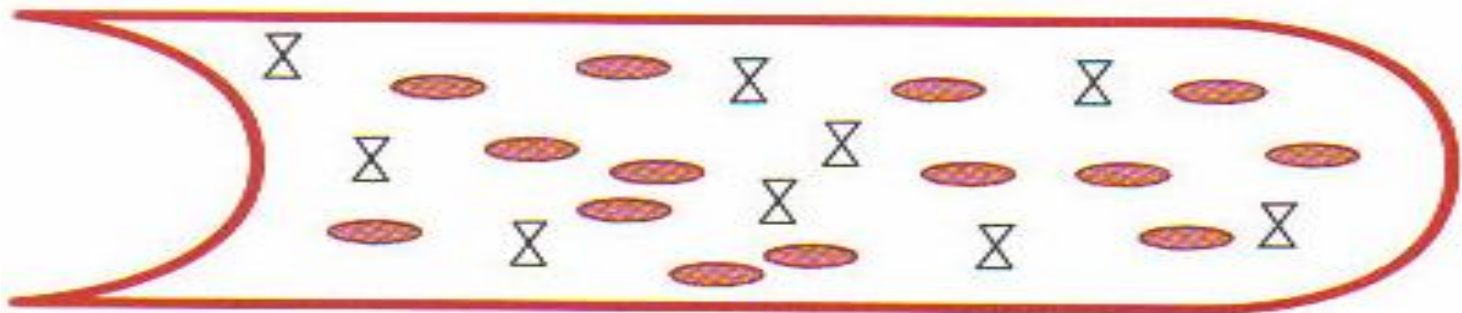
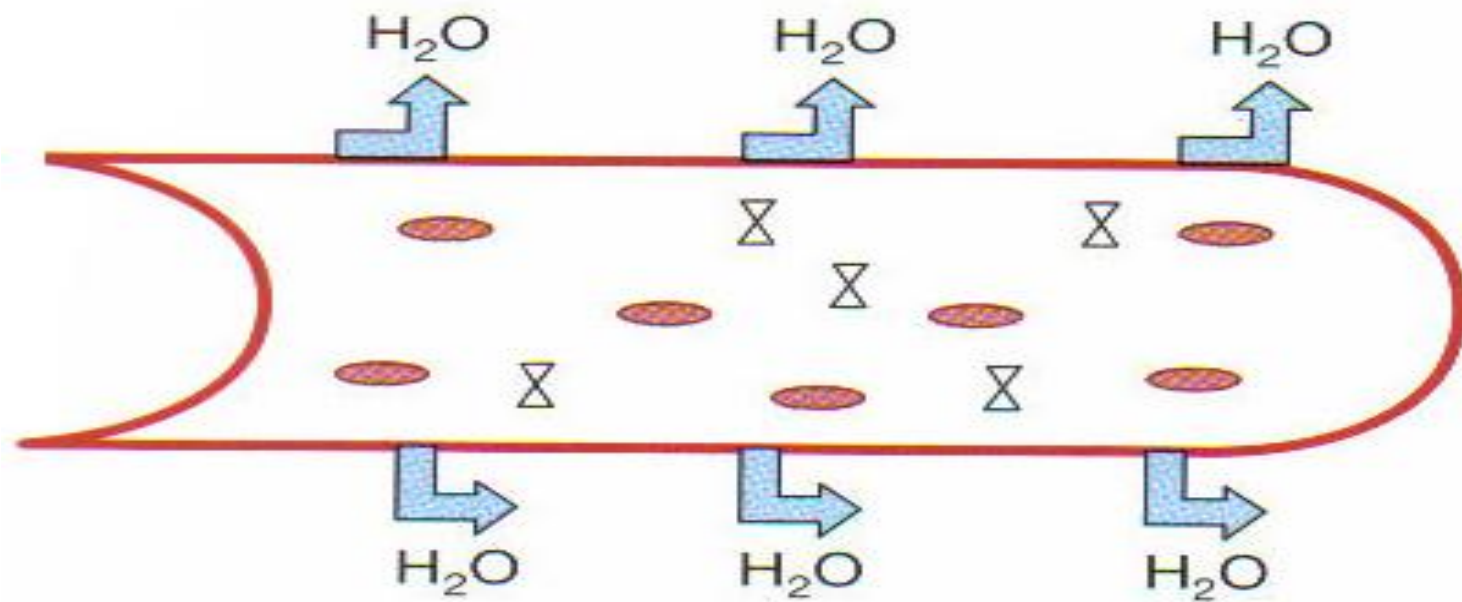
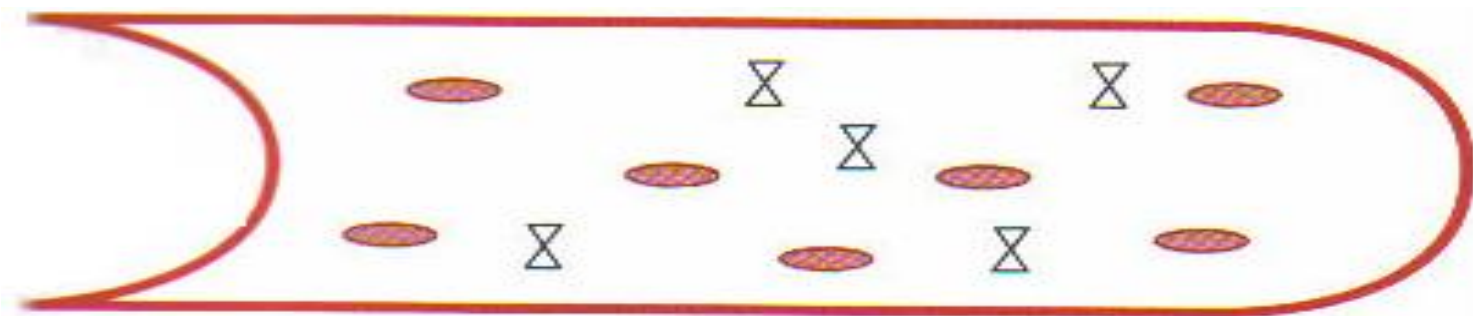
- El ejercicio de larga duración y el entrenamiento diario origina una expansión del volumen plasmático hasta un 25% (depende de cantidad e intensidad).
- Este aumento ayuda a:
 - ◆ Disminuir la viscosidad de la sangre.
 - ◆ Mejora la hemodinámica cardiovascular.
 - ◆ Mejora la oxigenación periférica muscular.
- Produce hemodilución, lo que provoca el cuadro de “pseudo-anemia del ejercicio”.

Mecanismos:

- ✓ Mayor producción de aldosterona (actividad R-A-A)
- ✓ Incremento en síntesis de albúmina
- ✓ ↓ Sensibilidad barorreceptores y actividad de urodilatina

- ◆ Actividad prolongada → volumen plasmático disminuye → hemoconcentración (aumenta glóbulos rojos entre un 20 y 25% debido a la sudoración).

- ◆ La pérdida de volumen plasmático dificulta el rendimiento y produce mayor viscosidad de la sangre, limitando el transporte de oxígeno.



MECANISMOS RELACIONADOS CON LAS RESPUESTAS Y ADAPTACIONES EN EL NUMERO DE HEMATIES

El número de hematíes varia según género y edad: en hombres aproximadamente 4.5-5.5 millones/mm³ de sangre; un poco menos para la mujer.

Puede variar por las siguientes razones:

- Zona de extracción del cuerpo.
- Ejercicio físico.
- Factores emocionales (ansiedad o excitación)
- Sueño.
- Hemorragias y diversas situaciones patológicas.

Tabla 1

Medias \pm DS de las variables hematológicas encontradas en 1.628 muestras de 224 atletas del equipo ciclista alemán (169 hombres y 55 mujeres)

	Hombres	5%	95%	Mujeres	5%	95%	Rango normal
Hb (g · dl ⁻¹)	15,38 \pm 0,87	14,1	16,9	13,9 \pm 0,79	12,4	15,1	14-17,5 (Γ) 12,3-15,3
Hct (%)	44,98 \pm 2,93	40,7	50,3	40,65 \pm 2,73	36,5	44,9	39-51 (Γ) 33-49 (E)
RBC (10 ⁶ · mm ⁻³)	5,16 \pm 0,36			4,64 \pm 0,33			4,5-5,9 (Γ) 4,1-5,1 (E)
MCH (pg)	20,85 \pm 1,28			30,04 \pm 1,38			28-33
MCHC (g/dl)	34,28 \pm 1,26			34,09 \pm 1,30			33-36
MCV (fl)	87,31 \pm 3,12			88,17 \pm 3,71			80-96
WBC (10 ³ · mm ⁻³)	5,8 \pm 1,3			6,0 \pm 1,4			4,4-11,3
Plt (10 ⁶ · mm ⁻³)	242 \pm 49			277 \pm 41			193-365 (Γ) 215-379

Hb: hemoglobina; Hct: hematócrito; RCB: contaje del número de hematíes; MCH: hemoglobina corpuscular media; MCHC: concentración hemoglobina corpuscular media; MCV: volumen corpuscular medio; WBC: contaje de células blancas; Plt: contaje de plaquetas. (Modificado de Schumacher O y cols. Hematological indices in elite cyclists. Lippincott Williams & Wilkins. Scand Med Sci Sports, 2002; 12:301-308)

Entrenamiento → reducción hematíes

- Expansión del VP (más representativo) → pseudoanemia del ejercicio
- Hemólisis por microtraumatismos (contracciones musculares intensas)
- Aumento velocidad flujo sanguíneo
- Traumatismos planta del pie al correr

Variables hematológicas en 747 atletas varones de distintos deportes y 104 sujetos controles no entrenados

	N	RBC (10⁶/ul⁻¹)	Hb (g/dl)	Hct (%)
		4,2 - 6,3	12 , 18	37 - 54
Atletas	747	5,33 +- 0,43	15,9 +- 1,1	47,1 +- 3,6
Sedentarios	104	5,24 +- 0,35	15,9 +- 1,0	46,9 +- 3,1
Deporte Resistencia	426	5,25 +- 0,47 ⁵	15,8 +- 1,1 ⁵	46,6 +- 3,1 ⁵
Deporte Mixto	118	5,37 +- 0,36 ⁵	15,9 +- 1,0 ⁵	47,6 +- 3,1
Deporte Fuerza	203	5,48 +- 0,34 ^{3,4}	16,3 +- 0,9 ^{3,4}	48,1 +- 2,9 ³
Corredores	144	5,25 +- 0,4	15,9 +- 1,1	47,0 +- 3,3
Ciclistas	272	5,26 +- 0,5	15,7 +- 1,1	46,5 +- 4,3

Diferencias significativas en Atletas, Sedentarios, ³Resistencia, ⁴Mixtas, ⁵Fuerza.
 (Modificada de Schumacher y cols. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34:869-875)

HEMATÓCRITO

- Hematócrito es la relación entre el volumen corpuscular y el volumen de la sangre total.
- Depende del número de eritrocitos, volumen corpuscular medio y volumen plasmático.
- Valor normal en varón $45 \pm 1.5\%$.
- Valor normal en mujer $40 \pm 1.5\%$.

HEMATÓCRITO

El valor hematócrito depende de tres factores:

1. El número de eritrocitos.
2. El volumen corpuscular medio
3. El volumen plasmático.

El valor hematócrito tiene casi el mismo significado que el contenido en hemoglobina de la sangre completa.

HEMATÓCRITO

Valores «normales»

Comprendidos entre un :

- 42-49% en los hombres.
- 39-46% en las mujeres.
- 35-40% en niños de 6 a 12 años.
- 31-36% en niños menores de un año.

Factores que modifican el hematocrito:

- Duración, intensidad, tipo de ejercicio (resistencia, fuerza).
- Condiciones climáticas.
- Tasa de sudoración.
- Reposición hídrica.



El hematocrito disminuye en la actividad física por:

- Expansión del volumen plasmático (principal/).
- Hemólisis.

Variables hematológicas en 747 atletas varones de distintos deportes y 104 sujetos controles no entrenados

(Modificada de Schumacher y cols. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34:869-875)

	N	RBC (10⁶/ul⁻¹)	Hb (g/dl)	Hct (%)
		4,2 - 6,3	12 , 18	37 - 54
Atletas	747	5,33 +- 0,43	15,9 +- 1,1	47,1 +- 3,6
Sedentarios	104	5,24 +- 0,35	15,9 +- 1,0	46,9 +- 3,1
Deporte Resistencia	426	5,25 +- 0,47 ⁵	15,8 +- 1,1 ⁵	46,6 +- 3,1 ⁵
Deporte Mixto	118	5,37 +- 0,36 ⁵	15,9 +- 1,0 ⁵	47,6 +- 3,1
Deporte Fuerza	203	5,48 +- 0,34 ^{3,4}	16,3 +- 0,9 ^{3,4}	48,1 +- 2,9 ³
Corredores	144	5,25 +- 0,4	15,9 +- 1,1	47,0 +- 3,3
Ciclistas	272	5,26 +- 0,5	15,7 +- 1,1	46,5 +- 4,3

HEMOGLOBINA

- Hombres → 16 g/dl de sangre.
- Mujeres → 14 g/dl de sangre.
- Cada gramo de hemoglobina se combina con 1.34 ml de oxígeno.
- En reposo: disminuida
- Tras ejercicio: aumentada

Valores de la concentración de hemoglobina en la población control, deportistas moderados y atletas de resistencia de elite (*Physiol Sports Med* 1986, 14:122-130)

Población	Valores de hemoglobina (g* dl*)	
	Hombre	Mujer
Normal /Control	14	12
Deportistas moderados	13,5	11,5
Atletas de resistencia de elite	13,0	11,0

Factores que modifican la hemoglobina:

- ✓ Género y tipo de ejercicio.
- ✓ Condiciones climáticas.
- ✓ Tasa de sudoración.
- ✓ Reposición hídrica.

La hemoglobina puede disminuir también por pérdida de hierro (sangrado), secuestro de complejos hierro-lactoferrina (en inflamación) o inhibición de la eritropoyetina.

Variables hematológicas en 747 atletas varones de distintos deportes y 104 sujetos controles no entrenados

(Modificada de Schumacher y cols. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34:869-875)

	N	RBC (10⁶/ul⁻¹)	Hb (g/dl)	Hct (%)
		4,2 - 6,3	12 , 18	37 - 54
Atletas	747	5,33 +- 0,43	15,9 +- 1,1	47,1 +- 3,6
Sedentarios	104	5,24 +- 0,35	15,9 +- 1,0	46,9 +- 3,1
Deporte Resistencia	426	5,25 +- 0,47 ⁵		46,6 +- 3,1 ⁵
Deporte Mixto	118	5,37 +- 0,36 ⁵	15,9 +- 1,0 ⁵	47,6 +- 3,1
Deporte Fuerza	203	5,48 +- 0,34 ^{3,4}		48,1 +- 2,9 ³
Corredores	144	5,25 +- 0,4	15,9 +- 1,1	47,0 +- 3,3
Ciclistas	272	5,26 +- 0,5	15,7 +- 1,1	46,5 +- 4,3

Variaciones del hierro sérico, del hierro total y de la haptoglobina

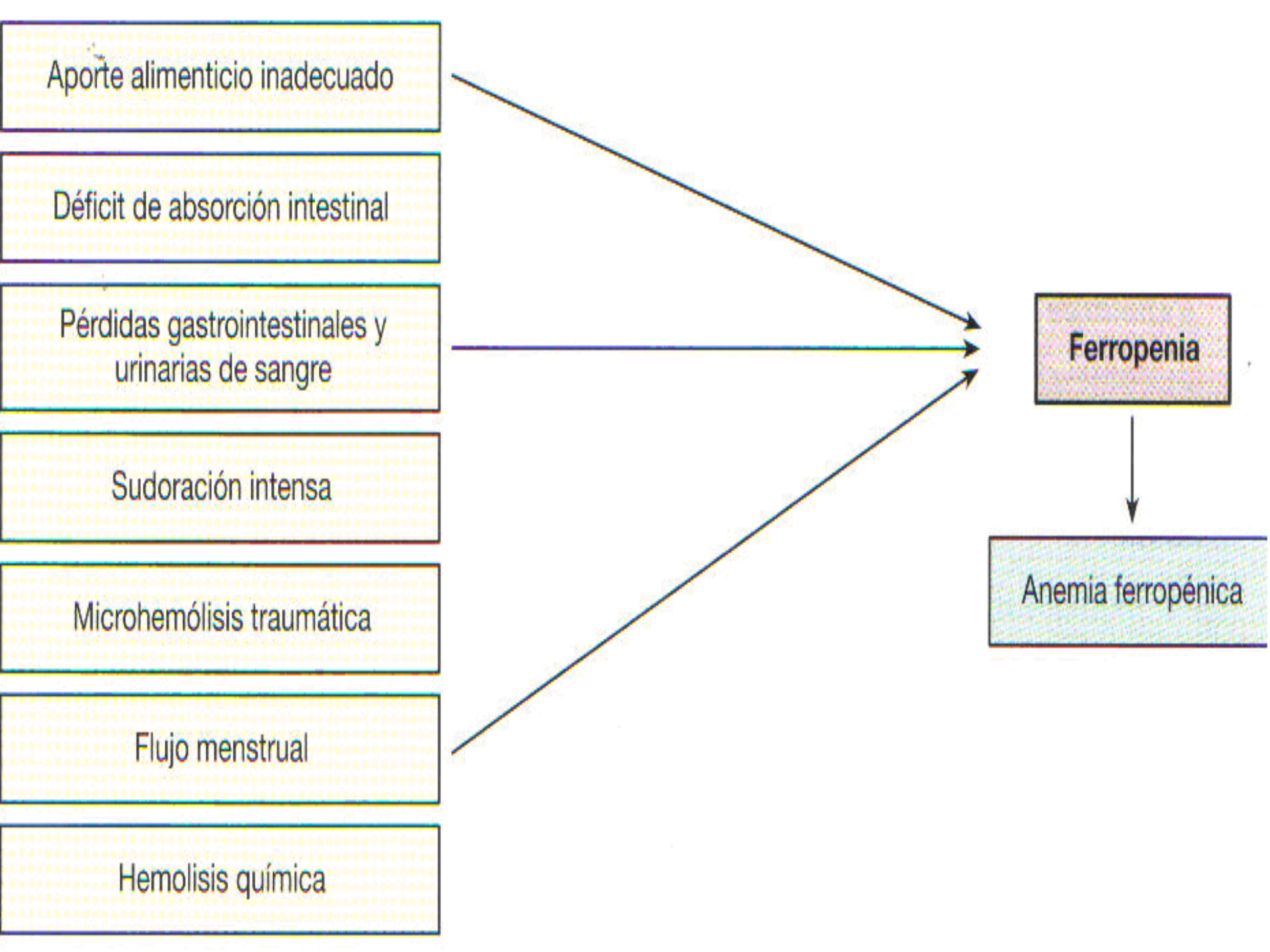
- El hierro es importante para la formación de hemoglobina, mioglobina, citocromos, peroxidasas, catalasas.
- La cantidad total de hierro en el cuerpo es de 4-5gr
→ 65% Hb, 4% mioglobina, 1% *hem*, 0.1% en transferrina, 15-30% en SRE.

La respuesta del hierro en ejercicio varia por (*ver fig*):

- Género: ↓ en mujeres por la menstruación
- Tipo de ejercicio → microtraumatismos
- Duración del ejercicio: niveles ↓ en ejercicios prolongados
- Estado de entrenamiento: aumentan pos 24hs en sujetos entrenados.

La ferritina disminuye en periodos de entrenamiento intenso.

La haptoglobina (prot que fija Hb libre) se reduce en la hemólisis → **se utiliza como marcador de hemólisis por trauma en carrera**



Aporte alimenticio inadecuado

Déficit de absorción intestinal

Pérdidas gastrointestinales y
urinarias de sangre

Sudoración intensa

Microhemólisis traumática

Flujo menstrual

Hemolisis química

Ferropenia

Anemia ferropénica

ANEMIA DEL DEPORTE

Se caracteriza por la disminución del número de hematíes y del valor de la hemoglobina por unidad de volumen de sangre.

Puede estar producida por una pérdida demasiado rápida de hematíes o por poca producción de los mismos.

Los principales factores implicados en la anemia del deportista:

- La hemodilución.
- La hemólisis.
- La deficiencia de hierro.



Características de los eritrocitos

Los eritrocitos son células:

1. Carentes de núcleo.
2. Forma de disco bicóncavo
3. Diámetro medio de 8 micras
4. Grosor de:
 - 2 micras en los bordes
 - 1 micra en la parte central

El número de eritrocitos es distinto en el hombre que en la mujer, siendo del orden del:

- ✓ 4,5-5,5 millones/mm³ de sangre para los varones
- ✓ 4-5 millones/mm³ para las mujeres
- ✓ 4,2-5,5 millones/mm³ niños.

Los hombres tienen mayor concentración de eritrocitos que las mujeres =

Parece relacionarse con los niveles de hormonas sexuales.

Los andrógenos estimulan la eritropoyesis.

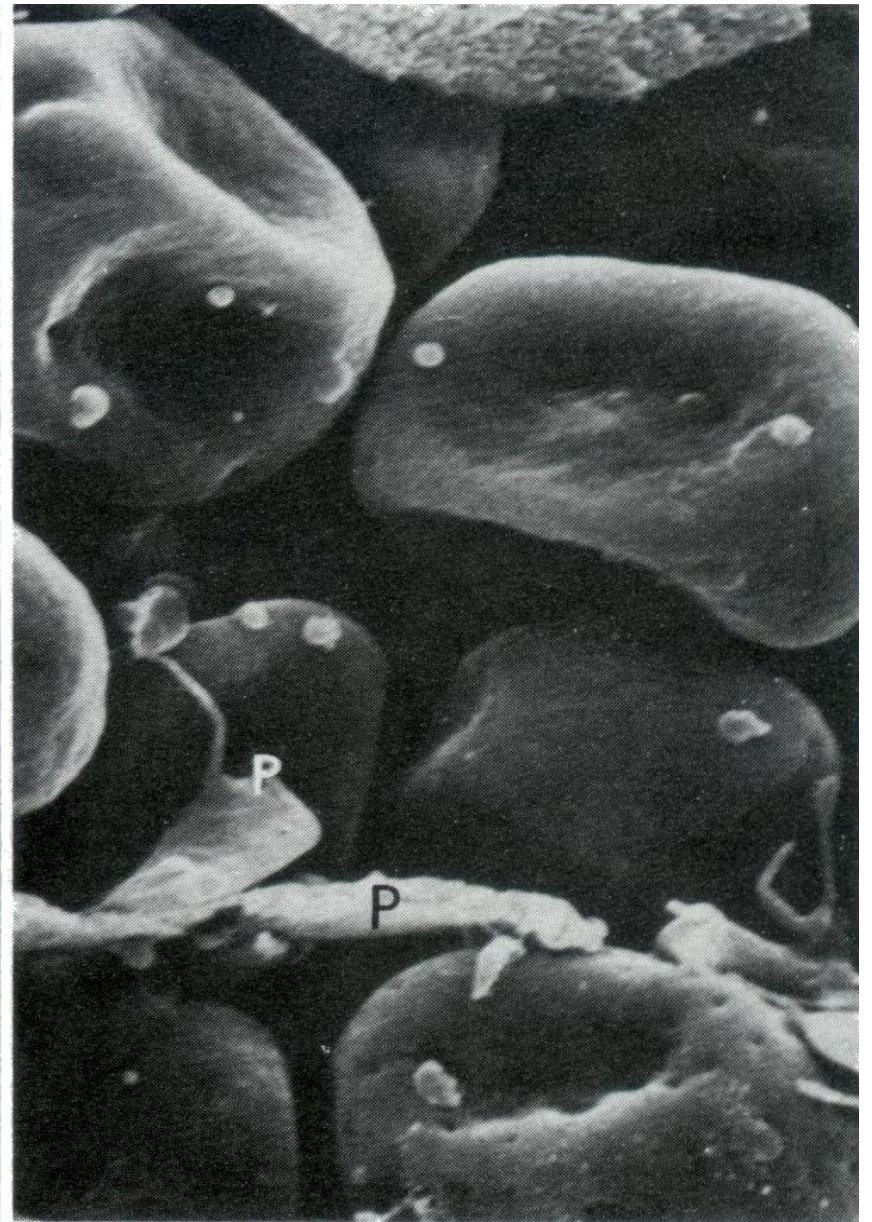
Los estrógenos inhiben la eritropoyesis.

Hombre tiene mayor masa magra

El número total de eritrocitos, en una volemia normal del orden de 5 litros, será de 25 millones de millones (2,5 billones) en un organismo adulto.

Variaciones fisiológicas en función:

1. La edad.
2. Zona de extracción de la sangre.
3. Embarazo.
4. Altitud
5. Ejercicio.
6. Factores emocionales (ansiedad – excitación).
7. Sueño.
8. Hemorragias
9. Diversas situaciones de enfermedad.



La forma de los eritrocitos dentro de los vasos sanguíneos es muy variable, debido a que su membrana es muy deformable.

Circulan a lo largo de 450 km de capilares.

El eritrocitos de 7-8 micras de diámetro corpuscular medio deben pasar, deformándose, por capilares de 3 micras de diámetro.

La deformabilidad de la membrana del eritrocito depende de tres factores:

1. La geometría de la célula.
2. La viscosidad del líquido interior.
3. Las propiedades viscoelásticas de la membrana.

Cuando esta deformabilidad de la membrana se pierde, los eritrocitos quedarán atrapados en los capilares y serán destruidos, evento que ocurre principalmente en la red capilar del bazo.

Como todas las células del organismo, los eritrocitos tienen un período o ciclo vital, que es de 120 días, => un ritmo formación/destrucción de 2-3 millones de **eritrocitos/segundo**.

Siendo el grado de oxigenación de las células el factor modulador principal de esta regulación.

HEMOGLOBINA

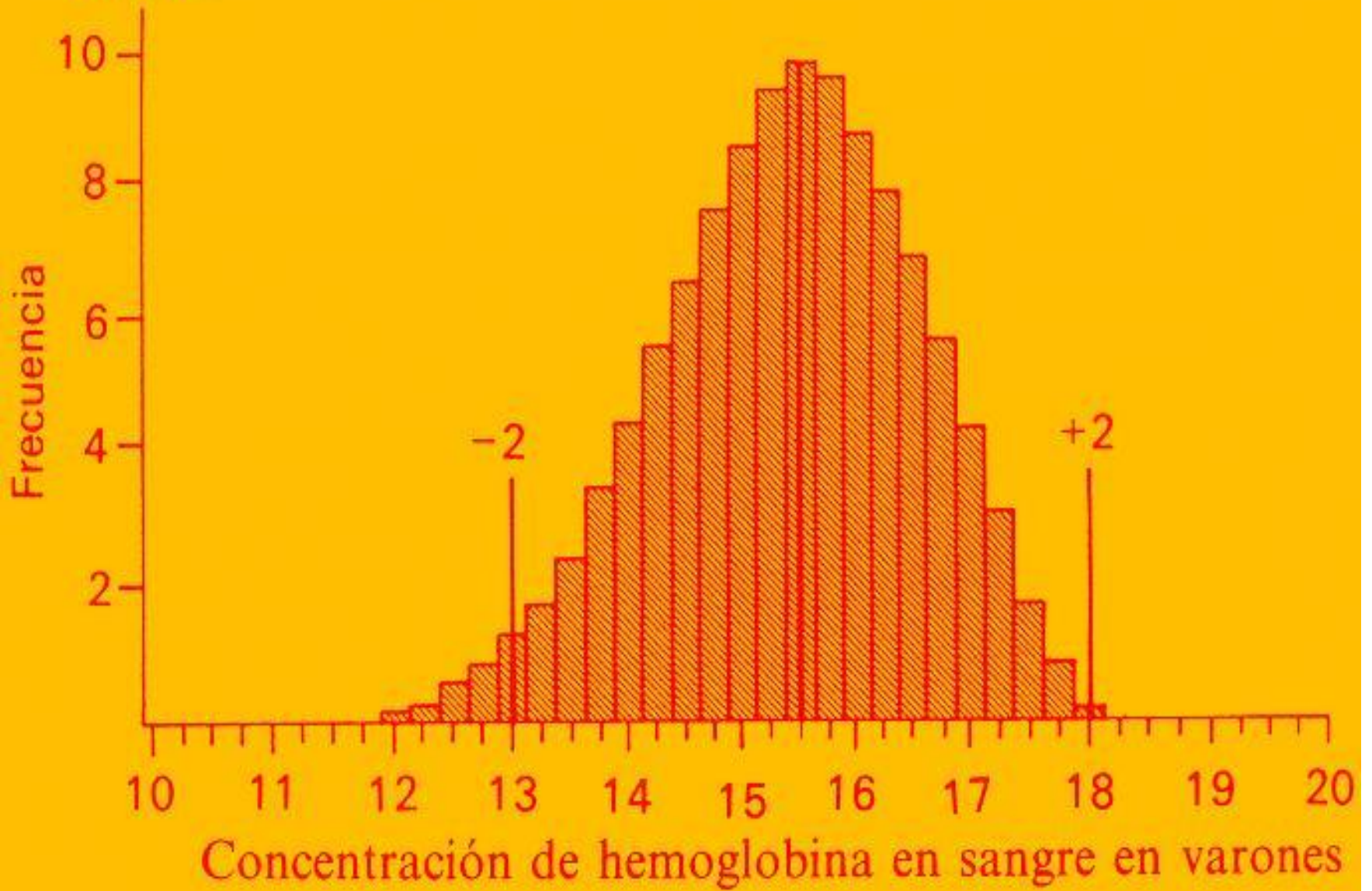
El eritrocito es un elemento formado que funciona como un almacén o saco de hemoglobina, alberga concentraciones del orden del 32-34 g/eritrocito.

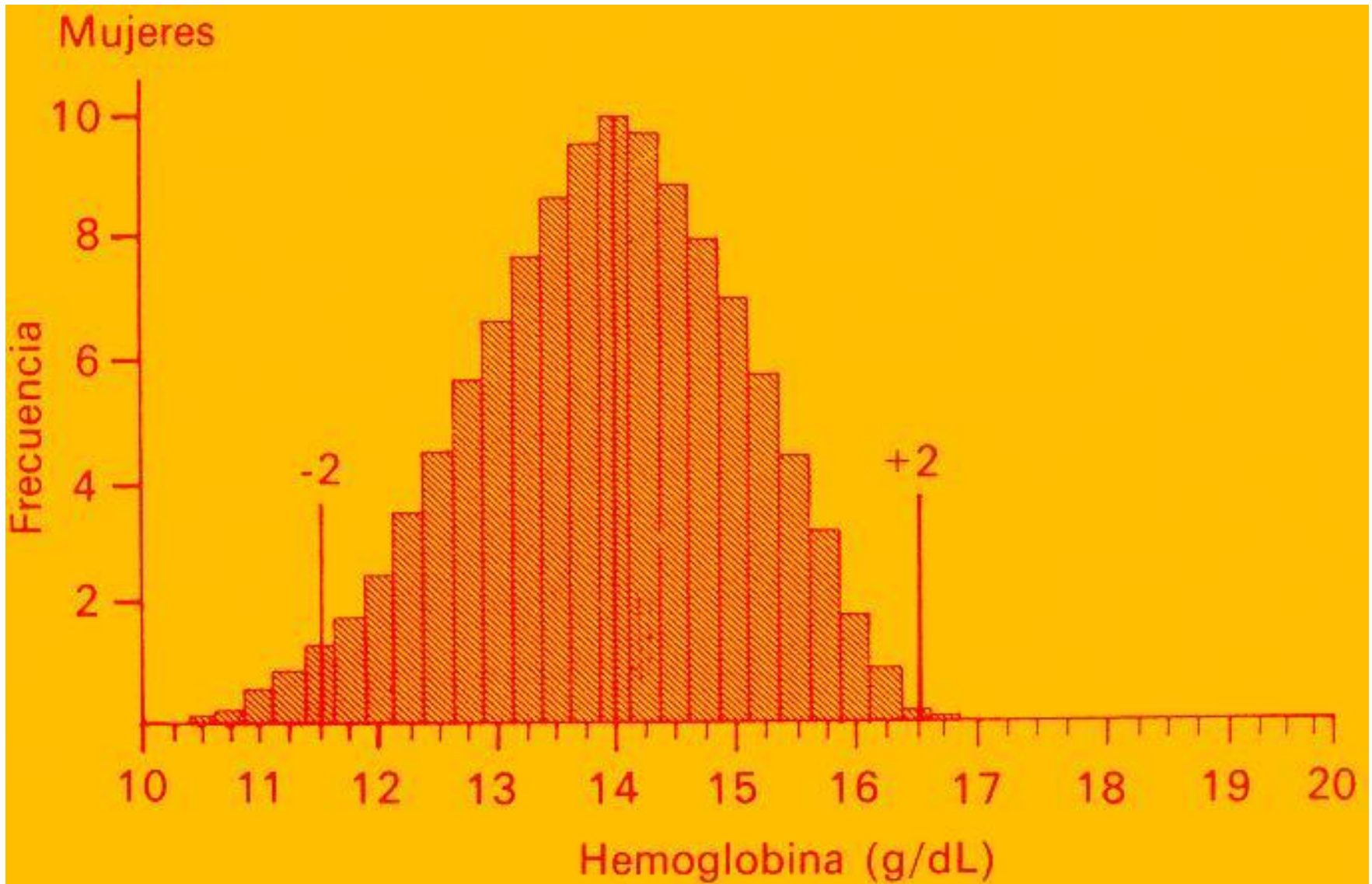
Cifras normales de hemoglobina:

Hombre de 13-18% (15,5 g Hb/100 mL sangre),

Mujer de 11,5-16,5% (14 g Hb/100 mL sangre)

Varones





Concentración de hemoglobina en sangre en mujeres.

El examen morfológico de los eritrocitos.

Al igual que su
cuantificación,
permite evaluar
situaciones del
deportista



El examen morfológico de los eritrocitos.

Microcitos o eritrocitos pequeños

- ✓ Diámetro CM < a 6 micras
- ✓ V. C. M. < a 80 micras,
- ✓ Ambos

Característicos de las situaciones de anemia por falta de hierro (**anemias ferropénicas**), frecuentes en deportistas.

Macroцитos o eritrocitos grandes.

- ✓ Diámetro > a 8 micras.
- ✓ V. C. M. > a 100 micras cúbicas.
- ✓ Ambos.

característicos en situaciones de anemia y que cursan con maduraciones aceleradas y deficitarias (anemias megaloblásticas) por **déficit en vitamina B12 o ácido fólico**, o ambos, o en hepatopatías crónicas.

El examen Cromico de los eritrocitos

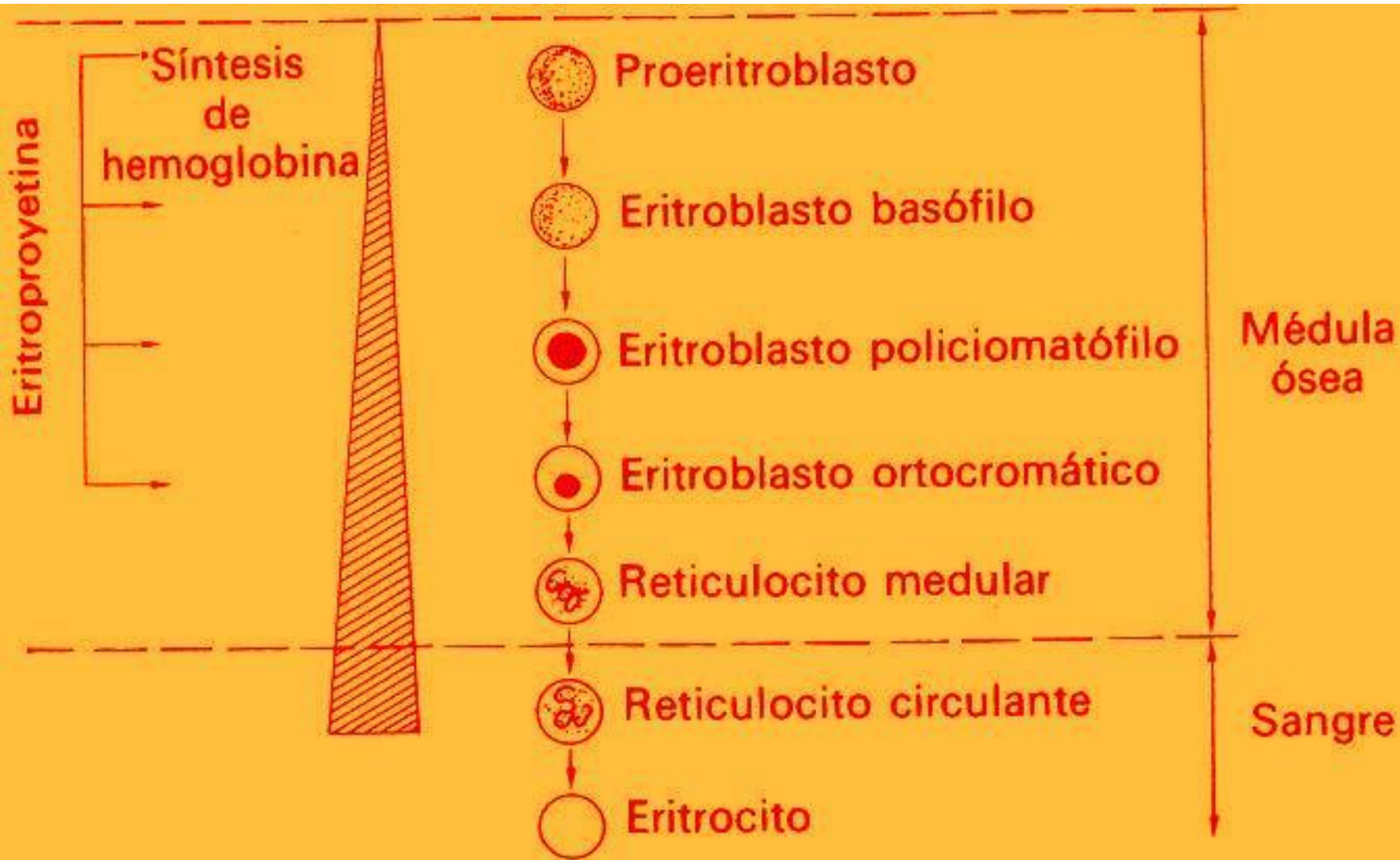
Eritrocitos con bajo contenido de Hb, (10mg/dl) tienen un aspecto pálido, = **Hipocrómicos**, que se caracterizan por poseer una C. Hb. C. M. menor a 30 g/100 mL.

Regulación de la génesis de eritrocitos

La formación o génesis de los eritrocitos en el adulto tiene lugar en la médula ósea roja, localizada en los huesos planos del esqueleto axial (**cráneo, esternón, vértebras, costillas y pelvis**) y en algunas epífisis de los huesos largos (**húmero, fémur**).

ERITROPOYESIS.

Proceso secuencial, a partir del cual una célula madre hematopoyética o hemocitoblasto, **ubicada en la médula ósea**, da respuesta a factores estimulantes e inhibidores, de la **producción** de Glóbulos rojos en la médula ósea (**células precursoras de los eritrocitos**).



Esquema del proceso de la eritropoyesis.

Pseudoanemia dilucciona

- Expansión del volumen plasmático que diluye el número de hematíes circulantes y las concentraciones de hemoglobina.
- Eritrocitos normocrómicos y normocíticos
- Buena adaptación a la actividad física (*Gordon y cols, 1989*):
 - Disminuye la viscosidad de la sangre.
 - Condiciona menor trabajo cardiovascular.
 - Mejor oxigenación periférica.

Comparación de los tres factores relacionados con la anemia

Tipo	Frecuencia	Tamaño de hematíes	Haptoglobina	Ferritina
Pseudoanemia dilucciona	Comun	Normal	Normal	Normal
Hemólisis	Rara	Grande	Baja	Normal
Deficiencia de hierro	No infrecuente	Pequeños	Normal	Baja

Hemólisis

- Es la destrucción de eritrocitos.
- Relacionada con carreras en superficies duras
→ trauma mecánico
- También asociada con aumento de la temperatura corporal → fragilidad de los hematíes.
- Dx: ↓ haptoglobina, anemia macrocítica,
↑ reticulocitos

Comparación de los tres factores relacionados con la anemia

Tipo	Frecuencia	Tamaño de hematíes	Haptoglobina	Ferritina
Pseudoanemia dilucciona	Comun	Normal	Normal	Normal
Hemólisis	Rara	Grande	Baja	Normal
Deficiencia de hierro	No infrecuente	Pequeños	Normal	Baja

Deficiencia de hierro con o sin anemia:

Importancia en el rendimiento deportivo:

- Transporte de oxígeno
- Cofactor en procesos enzimáticos mitocondriales

El déficit de hierro es mayor en la mujer: 20% en etapa fértil y 5% en etapa posmenopáusica; en el hombre incide en un 1- 4%.

Déficit con anemia → 1-3% de la población

Factores relacionados con la pérdida de hierro:

- Déficit nutricionales.
- La sudoración.
- Pérdidas sanguíneas por:
 - Sangrados gastrointestinales
 - Hematuria



Comparación de los tres factores relacionados con la anemia

Tipo	Frecuencia	Tamaño de hematíes	Haptoglobina	Ferritina
Pseudoanemia dilucciona	Comun	Normal	Normal	Normal
Hemólisis	Rara	Grande	Baja	Normal
Deficiencia de hierro	No infrecuente	Pequeños	Normal	Baja



BIBLIOGRAFIA

- 1) CHICHARRO J.L., Vaquero A.F.
Fisiología del ejercicio. Editorial Panamericana. Tercera edición, 2006.
Capitulo 13.
- 2) Javier González, Fisiología de la actividad física y del deporte -- **Capitulo 6**