



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS** **2011**

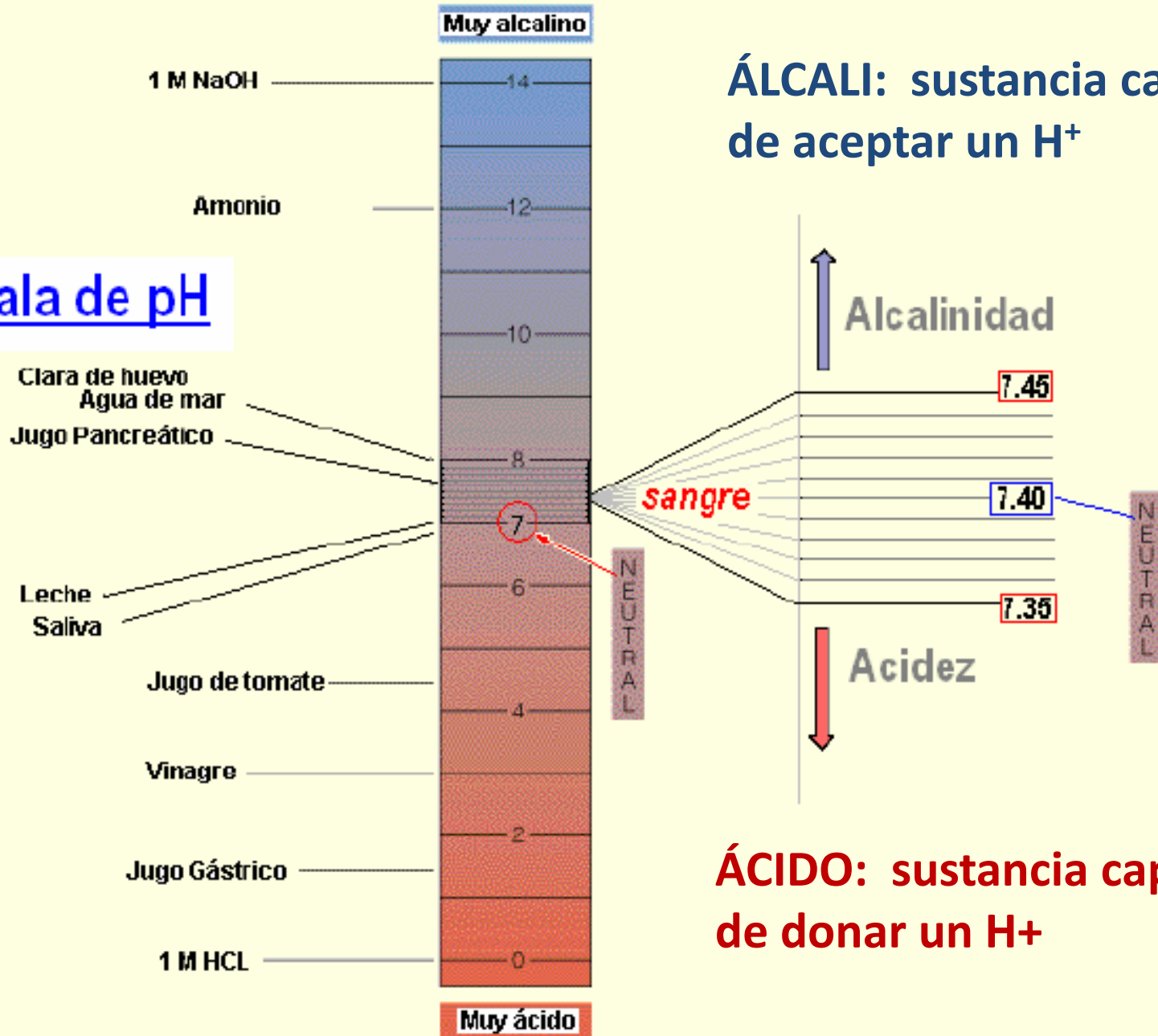
# **Control del Equilibrio ácido-base**

**Dr. Mynor A. Leiva Enríquez**  
**Bioquímica 2º Año**

# Escala de pH

pH	Concentración de H <sup>+</sup> en Eq/L
1	0.1
2	0.01
3	0.001
4	0.0001
5	0.00001
6	0.000001
7	0.0000001
7.4	0.00000004
8	0.000000001
9	0.0000000001

## Escala de pH



**ÁLCALI:** sustancia capaz de aceptar un  $H^+$

**ÁCIDO:** sustancia capaz de donar un  $H^+$

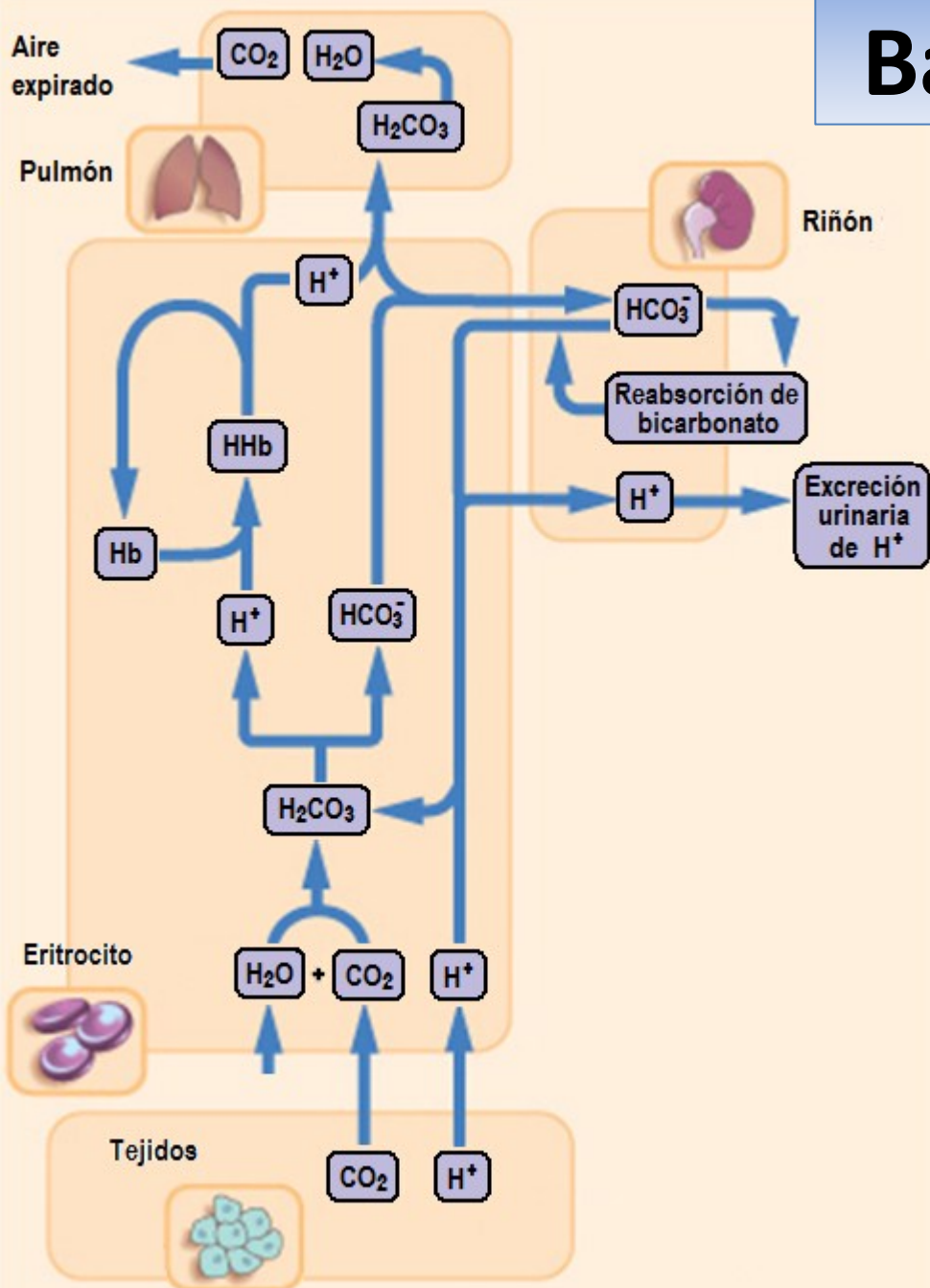
# Equilibrio ácido-base

- 1. El tampon de bicarbonato**
- 2. El intercambio alveolo-capilar de los gases**
- 3. Componente respiratorio del equilibrio**
- 4. Componente metabólico del equilibrio**
- 5. La ACIDOSIS**
- 6. La ALCALOSIS**
- 7. Afecciones clínicas relacionadas al desequilibrio ácido-base**

# Tampones en el cuerpo humano

Tampón	Ácido	Base conjugada	Acción
Hemoglobina	HHb	Hb <sup>-</sup>	Eritrocitos
Proteínas	Hprot	Prot <sup>-</sup>	Intracelular
Fosfato	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Intracelular
Bicarbonato	CO <sub>2</sub> → H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Extracelular

# Balance Ácido-base.



- Los órganos y tejidos implicados en el mantenimiento del equilibrio ácido-base son los pulmones, los eritrocitos y los riñones.
- Los pulmones controlan el intercambio de dióxido de carbono y de oxígeno entre la sangre y la atmósfera exterior.
  - Los eritrocitos transportan gases entre los pulmones y los tejidos y
  - Los riñones controlan la concentración de bicarbonato en el plasma y excretan el ión hidrógeno en la orina.

# Sistema de Amortiguación: BICARBONATO

1. El coeficiente de solubilidad del CO<sub>2</sub> en el plasma es 0.23 en kPa (o 0.03 si se mide la pCO<sub>2</sub> en mmHg).
2. 1 kPa = 7.5 mmHg y 1 mmHg = 0.133 kPa
3. A una **pCO<sub>2</sub> normal** de 5.3 kPa (**40 mmHg**), la concentración del CO<sub>2</sub> disuelto (dCO<sub>2</sub>) es:
4.  $d\text{CO}_2 \text{ (mmol/L)} = 5.3 \text{ kPa} \times 0.23 = 1.2 \text{ mmol/L}$

# Sistema de Amortiguación: BICARBONATO

- La Ecuación de Henderson-Hasselbalch

- $$\text{pH} = \text{pK} + \log \frac{[\text{bicarbonato}] \text{ (base)}}{\text{pCO}_2 \times 0.23 \text{ (ácido)}}$$

- $$\text{pH} = 6.1 + \log \frac{[24 \text{ mmol/L}] \text{ (base)}}{1.2 \text{ (ácido)}}$$



# Sistema de Amortiguación: BICARBONATO

- La Ecuación de Henderson-Hasselbalch

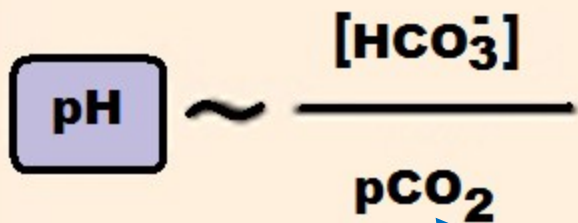
- $$\text{pH} = \text{pK} + \log \frac{[\text{bicarbonato}] \text{ (metabólico)}}{\text{pCO}_2 \times 0.23 \text{ (pulmonar)}}$$

- $$\text{pH} = 6.1 + \log \frac{[24 \text{ mmol/L}] \text{ (20)}}{1.2 \text{ (1)}}$$

# Sistema de Amortiguación: BICARBONATO

1. La proporción en las cifras de **20/1** siempre será 1.3. La suma de la constante  $6.1+1.3$  siempre será el pH normal: 7.4
2. Toda desproporción del **20/1** provocará la pérdida del equilibrio (y el pH será diferente de 7.4).
3. Los problemas **metabólicos** modificarán la cifra del numerador (**el bicarbonato de 24**).
4. Los problemas **respiratorios** modificarán la cifra del denominador (el **CO<sub>2</sub> de 1.2**).

# Componentes del sistema amortiguador de Bicarbonato



Componente metabólico

Riñón



Pulmones



Componente respiratorio

La concentración de bicarbonato (metabólico) varía de acuerdo a la producción de ácidos no volátiles producidos en los tejidos.  
La pCO<sub>2</sub> depende de la frecuencia respiratoria.

# Sistema de Amortiguación: BICARBONATO

En el plasma la reacción



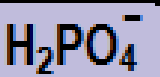
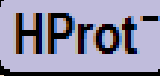
Ocurre muy lentamente.

Los eritrocitos y las células de los túbulos renales aceleran la reacción **a** por la acción de la enzima *anhidrasa carbónica*

Por medio de esta acción los riñones controlan la concentración de bicarbonato en plasma.

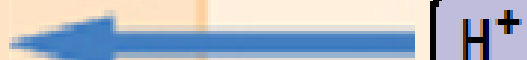
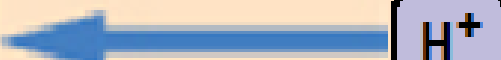
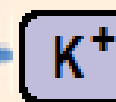
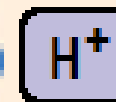
## Amortiguación intracelular en la Acidosis

Eritrocito



plasma

Puede producir hiperkalemia  
↑ [K<sup>+</sup>]<sub>p</sub>



## Amortiguación intracelular en la Alcalosis

**Eritrocito**



Prot<sup>-</sup>

HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>

HProt<sup>-</sup>

H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>

H<sup>+</sup>

K<sup>+</sup>

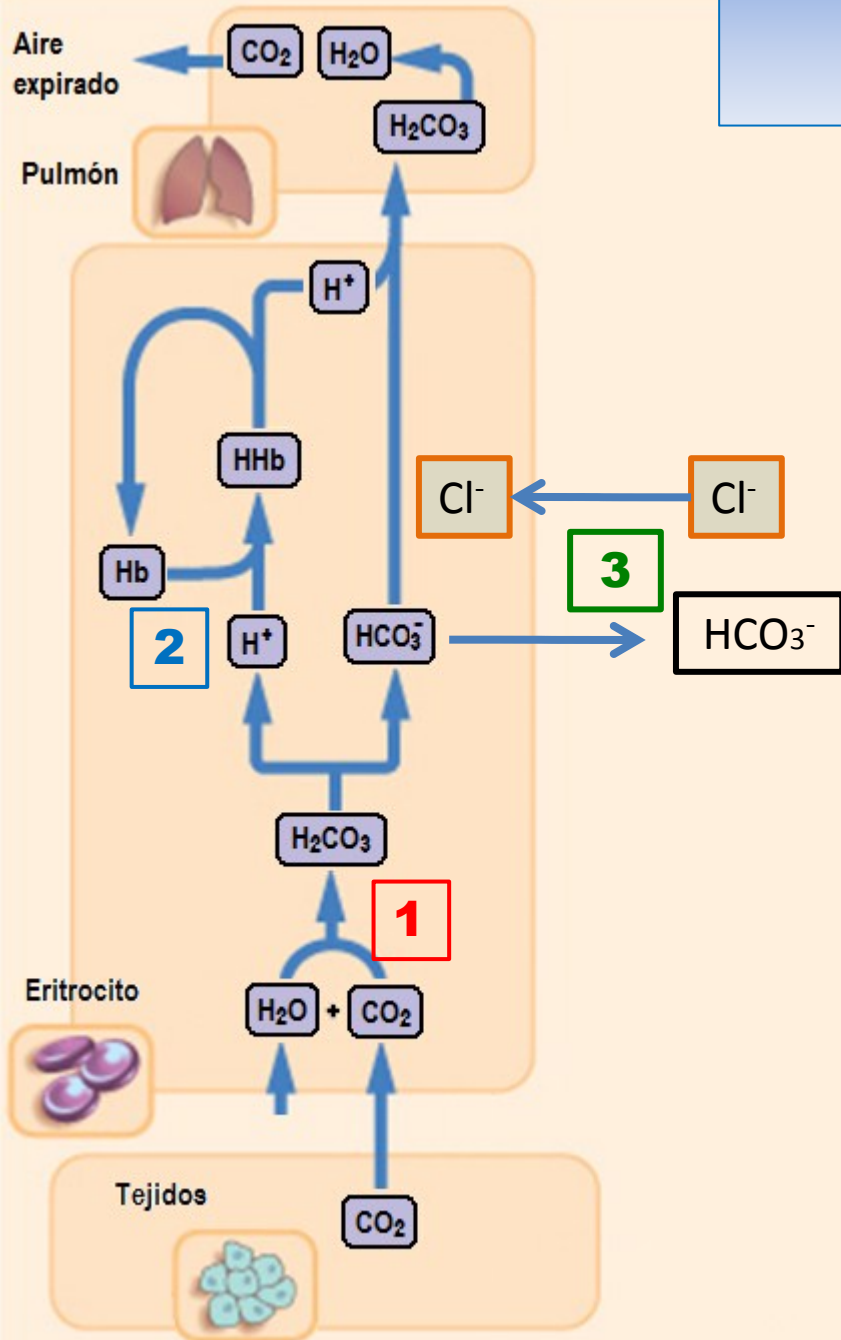
**plasma**

Puede producir  
hipokalemia  
↓ [K<sup>+</sup>]<sub>p</sub>

H<sup>+</sup>

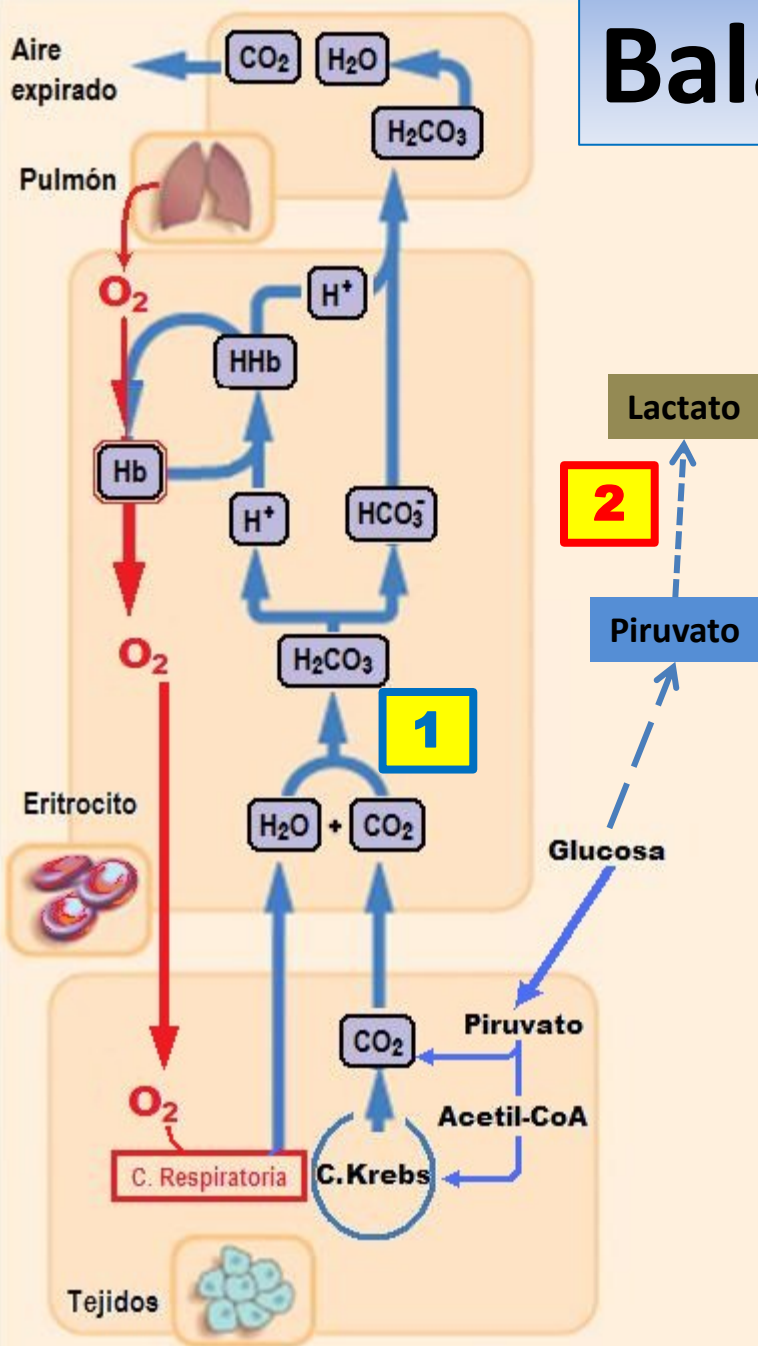
K<sup>+</sup>

# Balance Ácido-base.



1. La anhidrasa carbónica del eritrocito “fija” CO<sub>2</sub> como bicarbonato.
2. El ión hidrógeno resultante, es amortiguado por la hemoglobina.
3. El bicarbonato se intercambia con el ión CLORURO del plasma.
4. 70% del CO<sub>2</sub> producido en los tejidos se convierte en bicarbonato.
5. 20% va como “carbamino” en la Hb.
6. 10% viaja disuelto en el plasma.

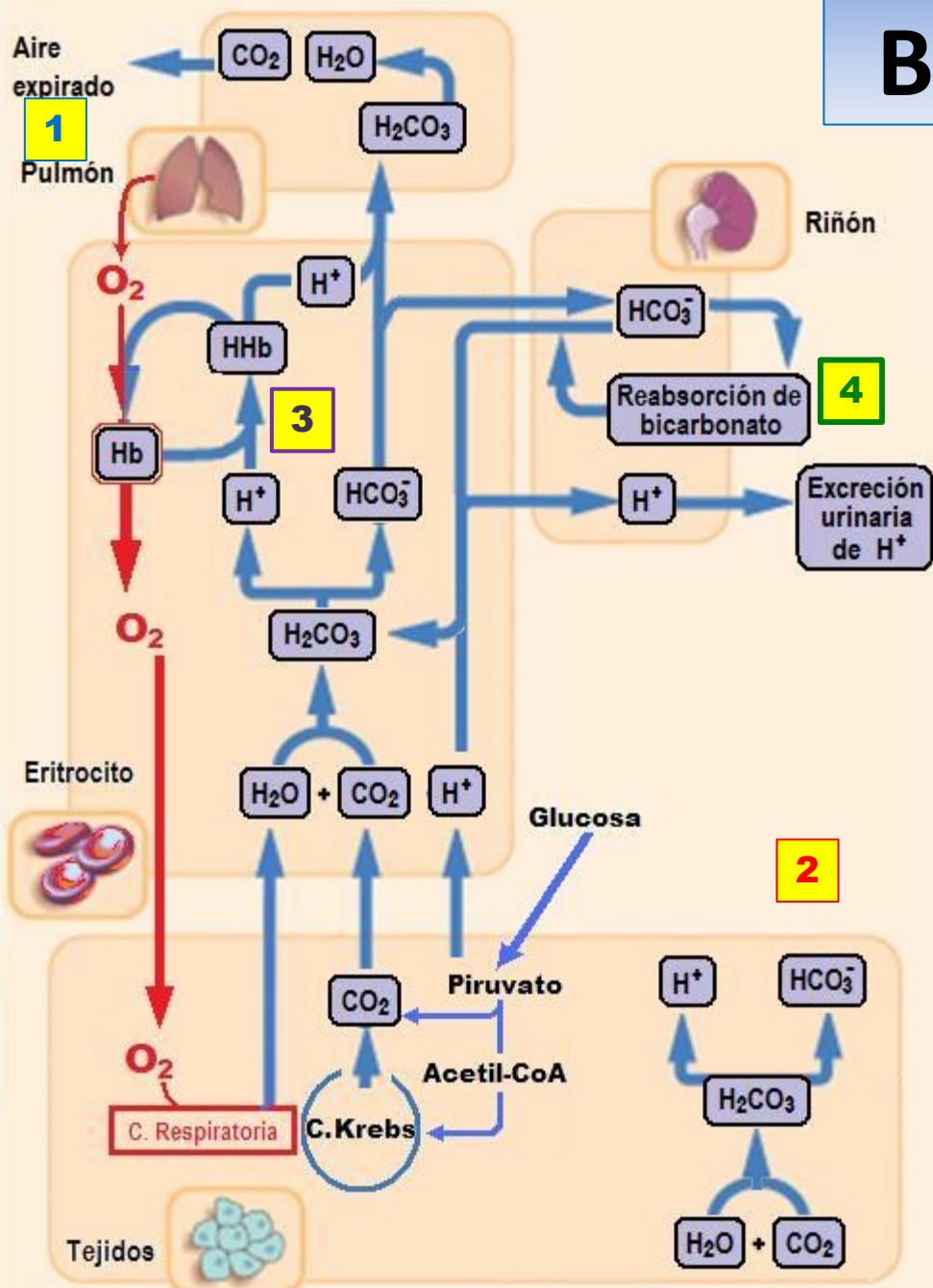
# Balance Ácido-base.



1. Se generan cantidades sustanciales de ácidos inorgánicos como consecuencia de disolverse el  $\text{CO}_2$  producido del metabolismo oxidativo energético y combinarse con agua, y del metabolismo de aminoácidos sulfurados y fosforados.
2. El ácido láctico es resultado de la glucólisis anaeróbica resultante de la hipoxia (se bloquea la función mitocondrial) y
3. Los cuerpos cetónicos se asocian a exceso de beta-oxidación de ácidos grasos, por descompensación diabética.

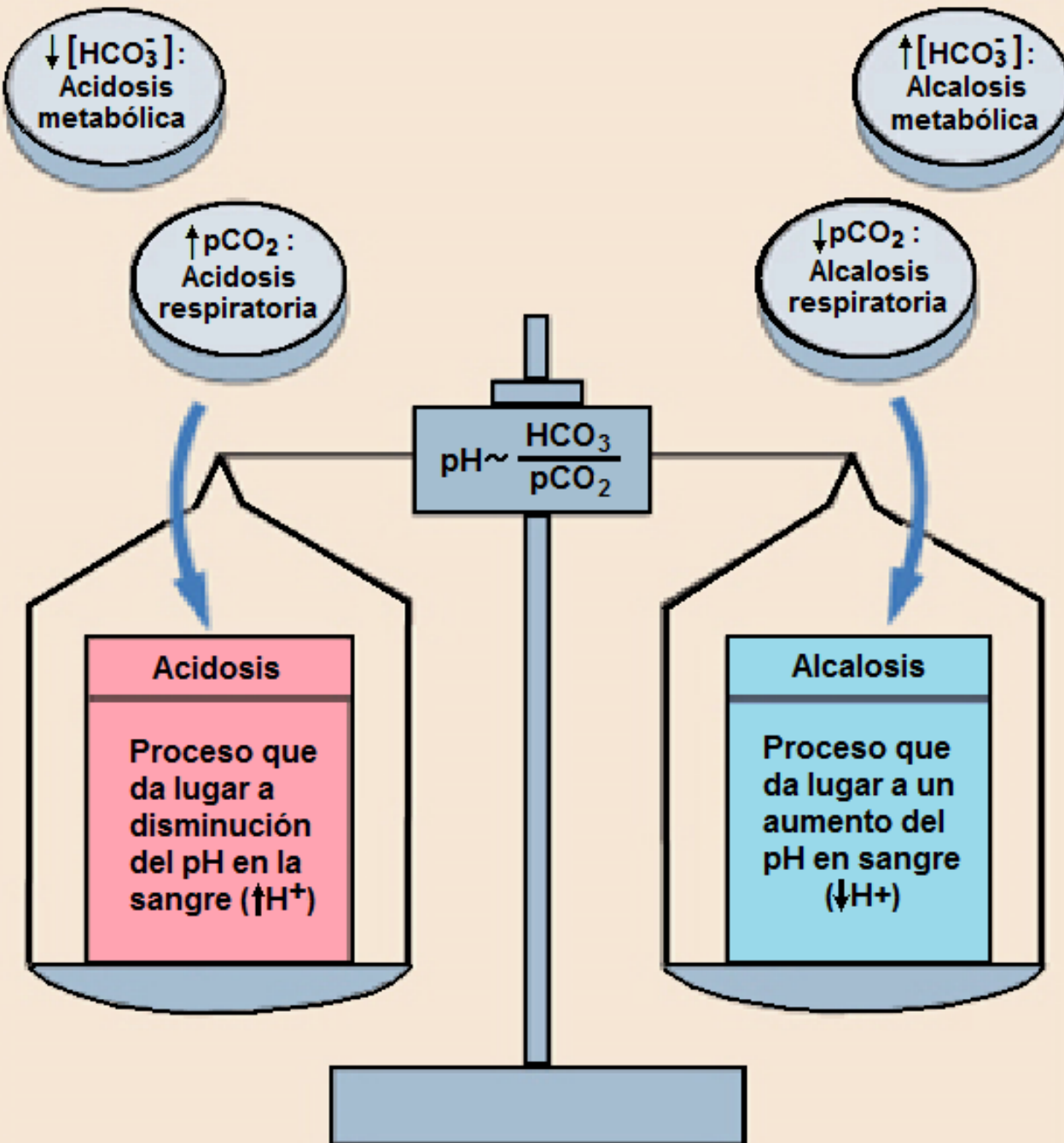


# Balance Ácido-base.



1. Los pulmones controlan el intercambio gaseoso con el aire atmosférico.
2. El  $\text{CO}_2$  generado es transportado en el plasma como  $\text{HCO}_3^-$ .
3. La Hb amortigua ión hidrógeno
4. Los riñones reabsorben bicarbonato filtrado en los túbulos proximales y generan nuevo bicarbonato en los túbulos distales, donde hay una secreción neta de ión hidrógeno.

# Trastornos Ácido-base



Un aumento primario en la  $\text{pCO}_2$  o una disminución en  $[\text{HCO}_3^-]$  lleva a ACIDOSIS.

La disminución de la  $\text{pCO}_2$  o el aumento en  $[\text{HCO}_3^-]$  lleva a ALCALOSIS .

Si el cambio primario afecta a la  $\text{pCO}_2$  es “respiratorio”

Si el cambio primario afecta a la  $[\text{HCO}_3^-]$  es “metabólico”

# Intervalo de referencia de los resultados de los gases en sangre

	Arterial	Venosa
[H <sup>+</sup> ]	36 - 43 mmol/L	35 - 45 mmol/L
pH	7.37 - 7.44	7.35 - 7.45
pCO <sub>2</sub>	4.6 - 6.0 kPa	4.8 - 6.7 kPa
pO <sub>2</sub>	10.5 - 13.5 kPa	4.0 - 6.7 kPa
Bicarbonato	23 - 30 mmol/L	

# Función del Pulmón

1. El epitelio bronquial elimina partículas.
2. El centro respiratorio (en el bulbo raquídeo) tiene quimiorreceptores sensibles a  $p\text{CO}_2$  y al pH:  $> p\text{CO}_2$  o  $< \text{pH} \rightarrow >$  ventilación.
3. En los cuerpos carotídeos del cayado aórtico hay sensores que ante la *hipoxia* ( $p\text{O}_2 < 8 \text{ kPa}$  o  $60\text{mmHg}$ ) asumen el control ventilatorio.
4. En condiciones patológica es primero *hipoxia* que *hipercapnia* (que indica gravedad).

# Los gradientes de la presión parcial determinan la difusión de los gases a través de la barrera alveolo-sangre

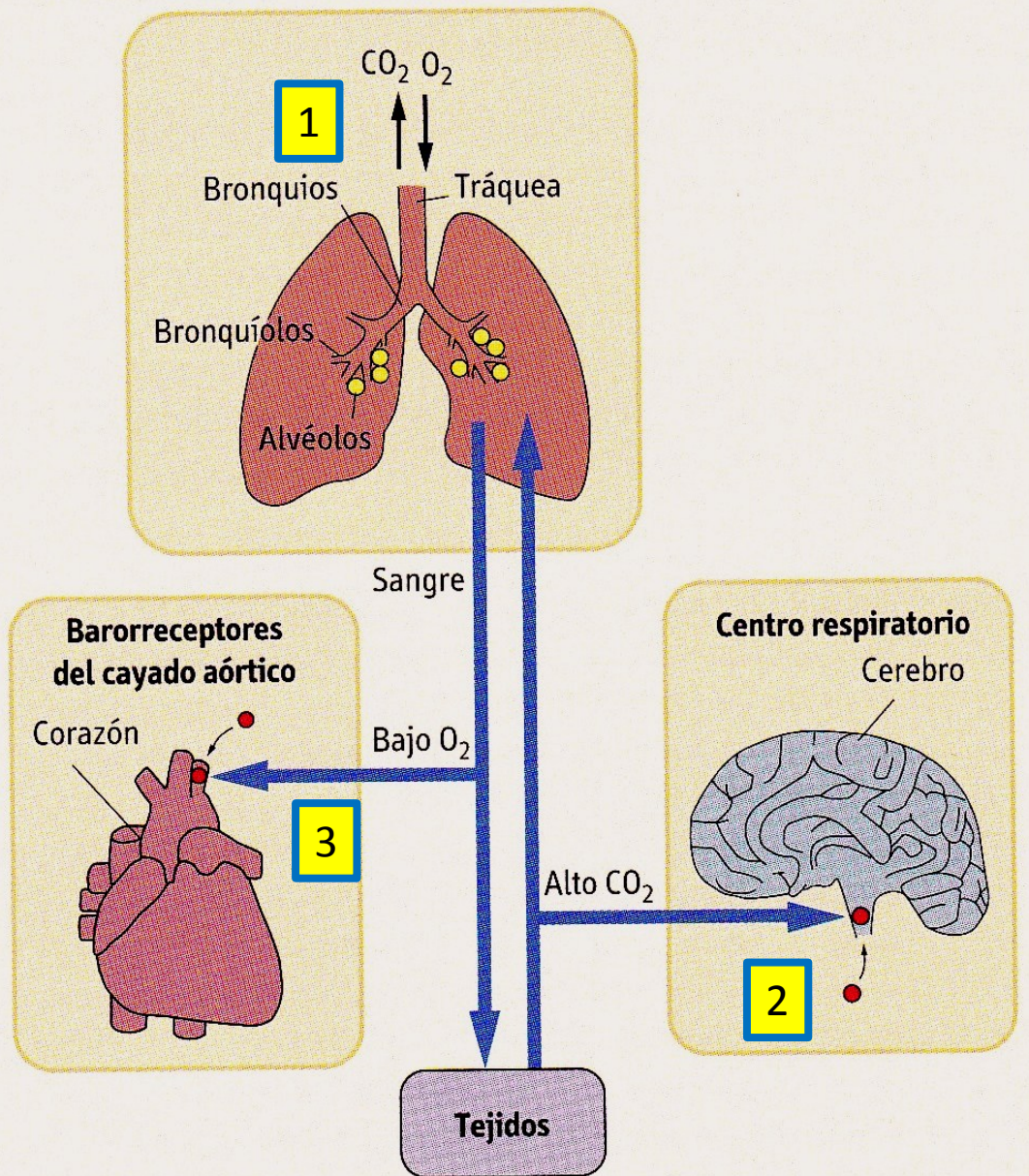
	Aire seco	Alvéolos	Arterias sistémicas	Tejido
pO <sub>2</sub>	21.2 kPa	13.7 kPa	12 kPa	5.3 kPa
pCO <sub>2</sub>	<0.13 kPa	5.3 kPa	5.3 kPa	6 kPa
Vapor de agua		6.3 kPa		

# Función del Pulmón

**Se compromete la función pulmonar por:**

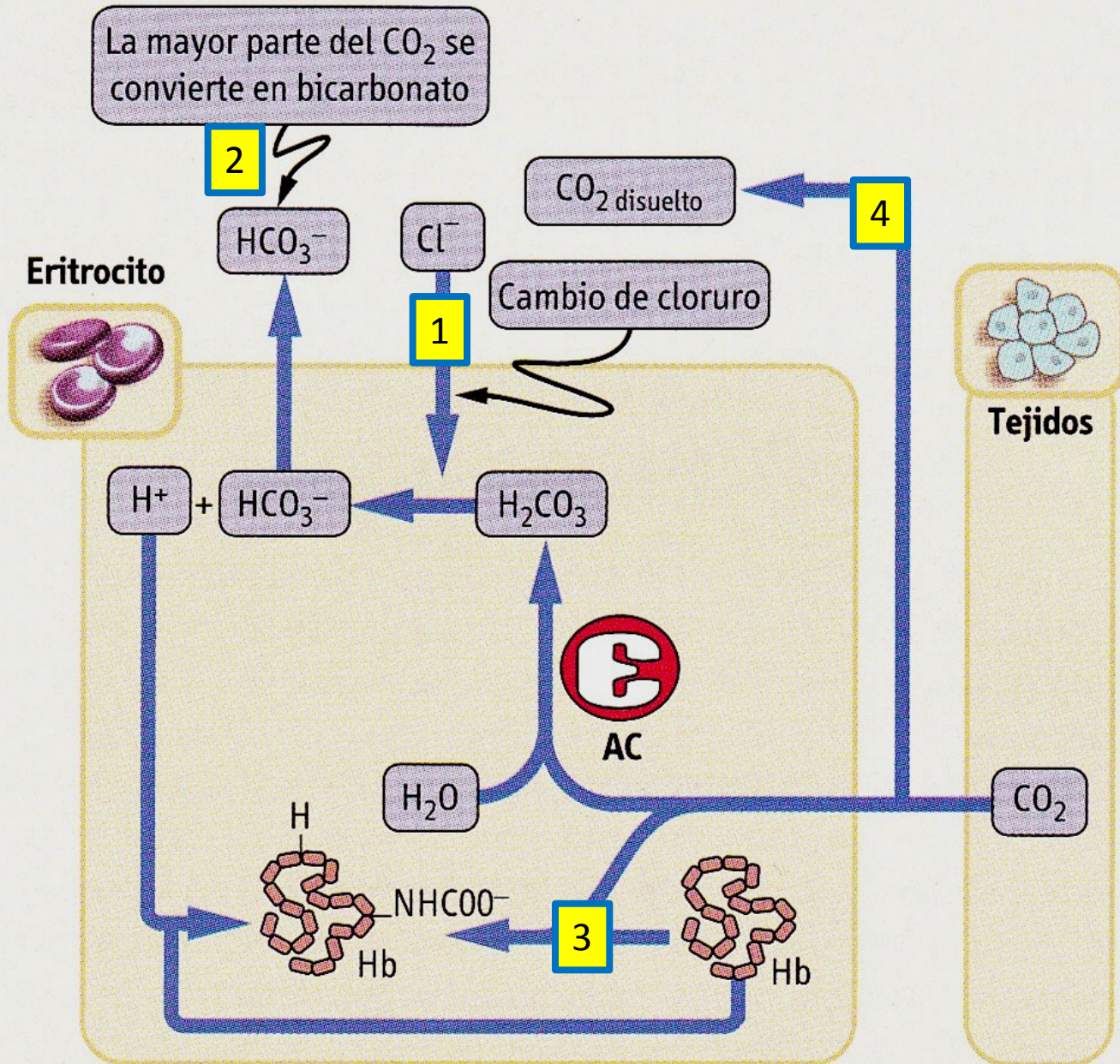
- 1. Deformidades restrictivas**
- 2. Trauma y colapso pulmonar (< surfactante)**
- 3. Obstrucción de la vía aérea**
- 4. Asma (broncoespasmo)**
- 5. Parálisis respiratoria**
- 6. Edema pulmonar o fibrosis intersticial**
- 7. Shock, ICC, Cáncer.**

# Oxígeno, CO<sub>2</sub> y control de la respiración



1. La ventilación y la perfusión pulmonares son los principales factores que controlan el intercambio gaseoso.
2. La pCO<sub>2</sub> afecta a la frecuencia ventilatoria por medio de los quimiorreceptores centrales en el tronco encefálico.
3. También la afecta el descenso de la pO<sub>2</sub> detectada por los receptores periféricos sensibles a la pO<sub>2</sub> situados en los cuerpos carotídeos del cayado aórtico.

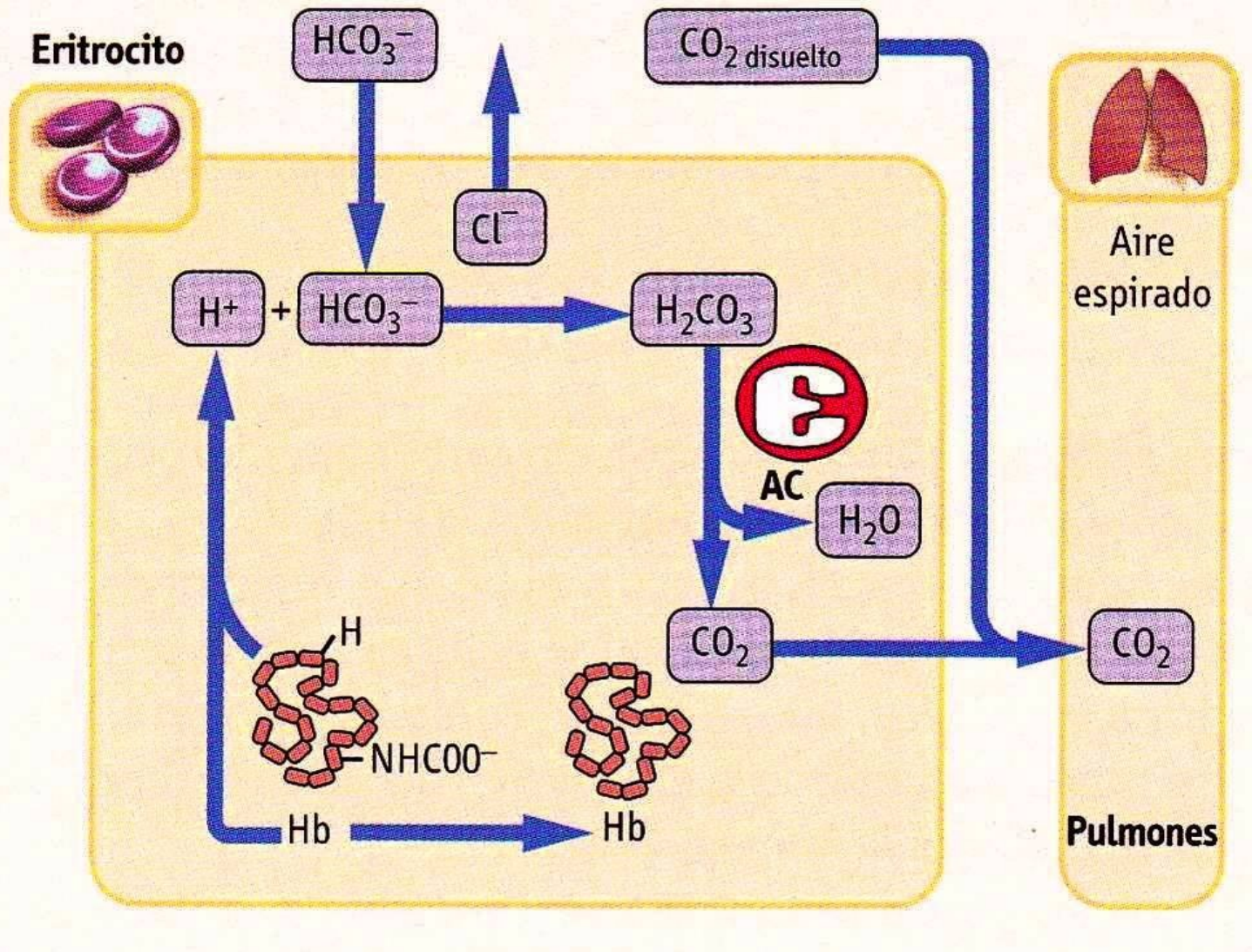
# Eliminación de CO<sub>2</sub> de los tejidos



1. El bicarbonato producido en los eritrocitos se mueve al plasma a cambio de Cl<sup>-</sup>
2. 70% del CO<sub>2</sub> se convierte en bicarbonato
3. 20% se une a hemoglobina y
4. 10% se disuelve en el plasma.



# Excreción de CO<sub>2</sub> en el aire expirado



En los pulmones la mayor pO<sub>2</sub> facilita la disociación del CO<sub>2</sub> de la Hb (efecto Haldane). La Hb libera H<sup>+</sup> y lleva a producir CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O.

# Efectos de la perfusión pulmonar

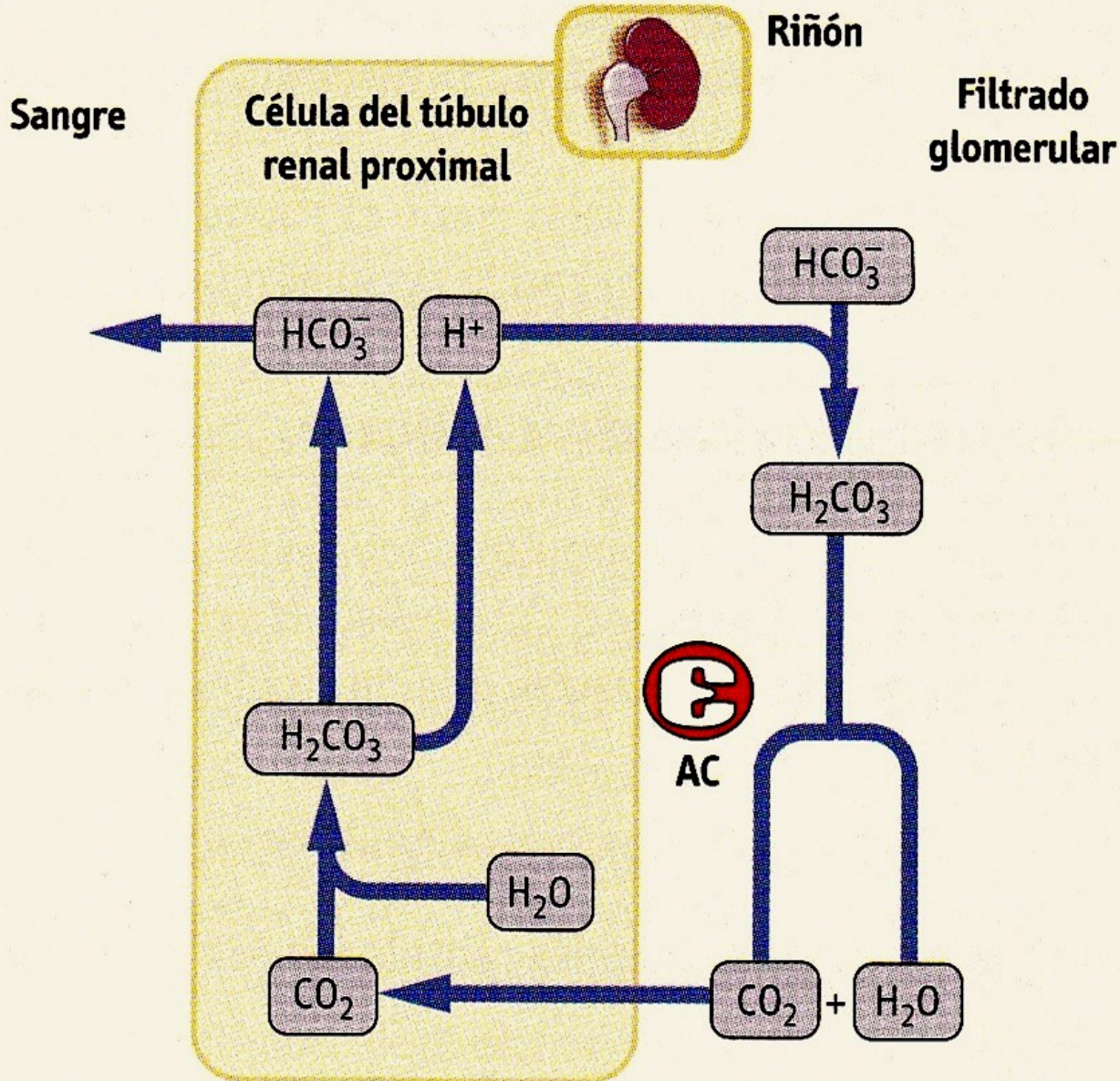
	<b>pO<sub>2</sub> alveolar</b>	<b>pCO<sub>2</sub> alveolar</b>	<b>pO<sub>2</sub> arterial</b>	<b>pCO<sub>2</sub> arterial</b>	<b>Comentario</b>
<b>Mala ventilación, perfusión adecuada</b>	<b>Disminuida</b>	<b>Aumentada</b>	<b>Disminuida</b>	<b>Normal</b>	<b>Derivación fisiológica.</b>
<b>Adecuada ventilación, mala perfusión.</b>	<b>Aumentada</b>	<b>Disminuida</b>	<b>Disminuida</b>	<b>Aumentada</b>	<b>Espacio muerto fisiológico</b>

# Función del Riñón

**El Sistema Renal Regula la excreción de  $H^+$**

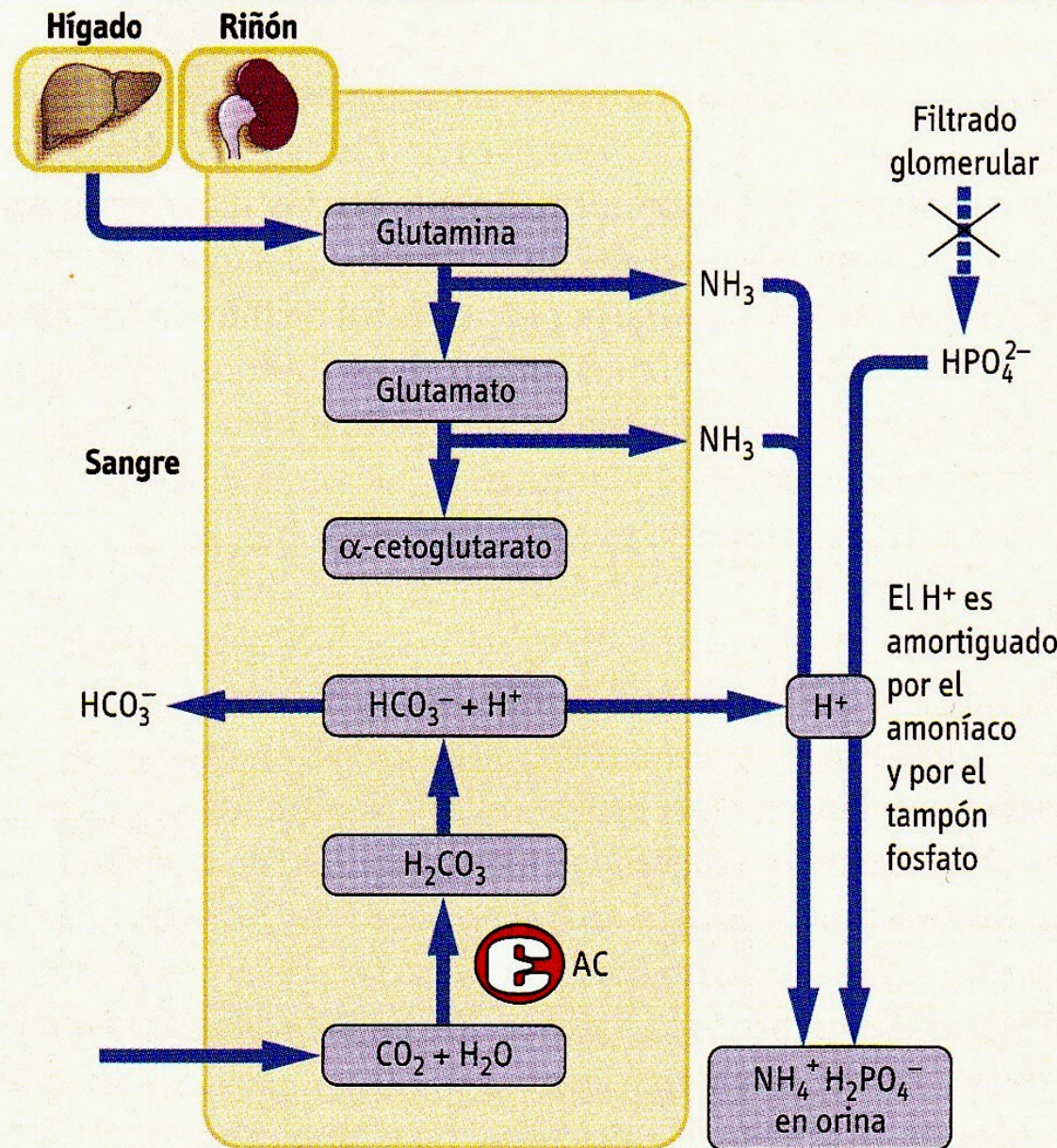
- 1. Por *reabsorción tubular de  $HCO_3^-$*  filtrado en el glomérulo**
- 2. por *regeneración de bicarbonato* gastado en la neutralización del ácido fijo, mediante la eliminación de  $H^+$ .**
- 3. Para eliminar el exceso de  $H^+$  por la orina, se combina con tampones intratubulares:**
- 4. “acidez titulable” o como amonio**

# Reabsorción de bicarbonato en el riñón



- Tiene lugar en el túbulo proximal.
- En este momento no hay una excreción neta de ión hidrógeno.
- La **anhidrasa carbónica** está presente en la cara luminal de las células tubulares.

# Excreción del ión HIDRÓGENO



1. Ocorre en los túbulos distales del riñón.
2. El  $H^+$  + amoníaco producen AMONIO que es excretado.
3. El  $H^+$  también es amortiguado por el fosfato.
4. La excreción diaria de  $H^+$  es de 50 mmol.

# Pérdida del Equilibrio Ácido-Base

1. El pulmón y el riñón trabajan de modo concertado para reducir al mínimo los cambios en el pH plasmático y pueden compensarse cuando se producen problemas.
2. Si se modifica la  $[\text{HCO}_3^-]_p$  (componente metabólico), cambia la cifra **del numerador** de la proporción **20/1**.
3. Si se modifica la  $p\text{CO}_2$  (componente respiratorio), cambia la cifra **del denominador** de la proporción **20/1**.
4. Si el cociente aumenta será alcalosis y
5. Si baja, será acidosis

# Pérdida del Equilibrio Ácido-Base

- **Acidosis Respiratoria**
- **Existe una hipoventilacion alveolar primaria**
- **pCO<sub>2</sub> >40 mmHg**
- **pH < 7.35**
- **Alcalosis Respiratoria**
- **Existe una hiperventilacion alveolar primaria**
  - **pCO<sub>2</sub> <40 mmHg**
  - **pH > 7.45**

# Pérdida del Equilibrio Ácido-Base

- **Acidosis:**

- ▶ **Descompensada:**

cuando la cifra de pH es baja.

- ▶ **Compensada:**

cuando la cifra de pH es normal, pero la cifra del CO<sub>2</sub> total es aún anormal

- **Alcalosis:**

- ▶ **Descompensada:**

cuando la cifra del pH es alta.

- ▶ **Compensada:**

cuando la cifra de pH es normal, pero la cifra del CO<sub>2</sub> total es aún anormal



# Pérdida del Equilibrio Ácido-Base

## 1. Acidosis Metabólica:

Cuando la alteración reduce la cifra de bicarbonato (el numerador).

## 2. Acidosis Respiratoria:

Cuando la alteración eleva la cifra del CO<sub>2</sub> disuelto (el denominador).

## 1. Alcalosis Metabólica:

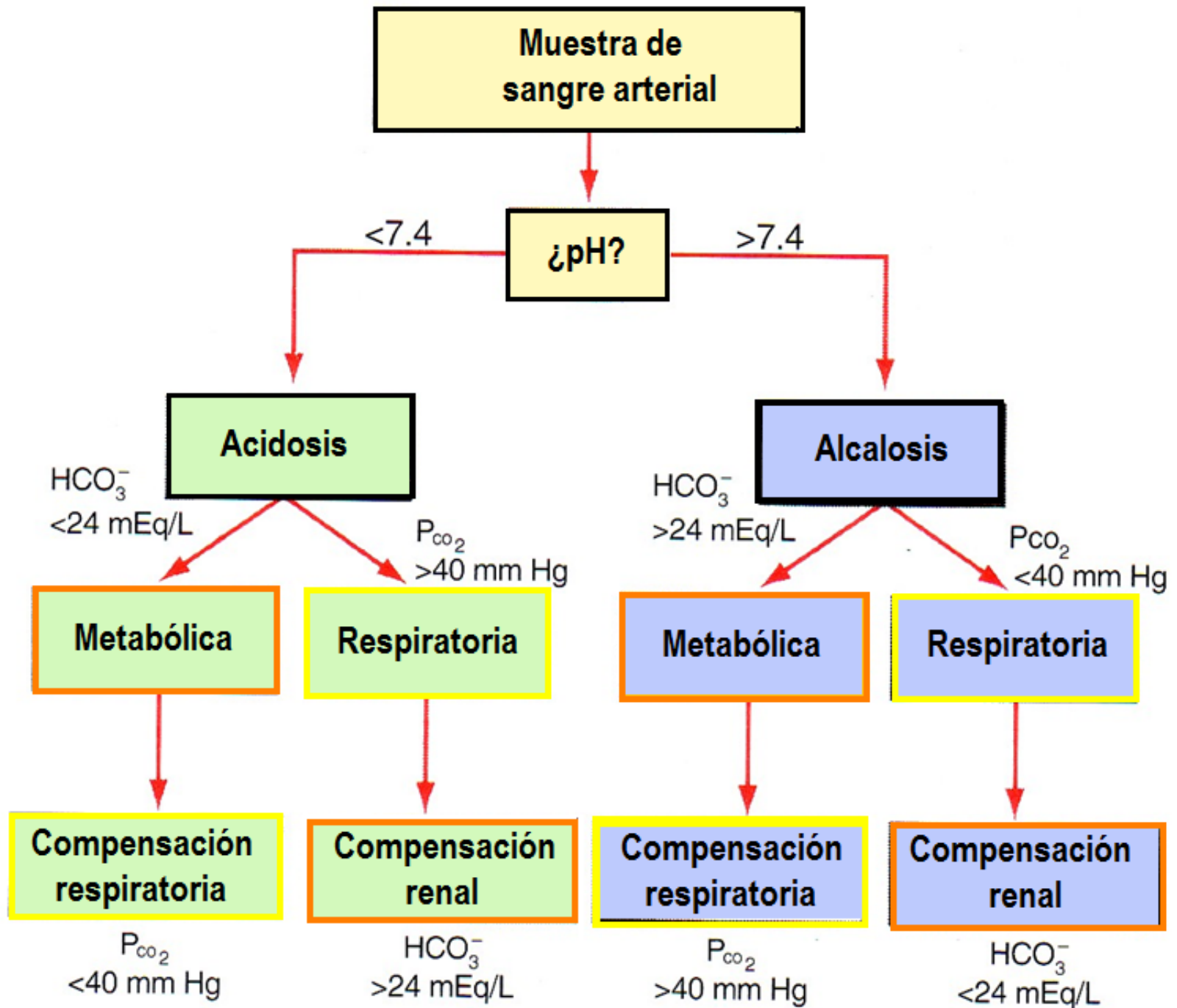
Cuando la alteración eleva la cifra de bicarbonato.

## 2. Alcalosis Respiratoria:

Cuando la alteración disminuye la cifra del CO<sub>2</sub> disuelto.

# Acidosis metabólica y respiratoria mixta

<b>Trastorno</b>	<b>pH</b>	<b>pCO<sub>2</sub></b>	<b>Bicarbonato</b>
<b>Acidosis metabólica</b>	<b>Disminución</b>	<b>Disminución (compensación respiratoria)</b>	<b>Disminución (cambio primario)</b>
<b>Acidosis respiratoria</b>	<b>Disminución</b>	<b>Aumento (cambio primario)</b>	<b>Aumento (compensación metabólica)</b>
<b>Acidosis respiratoria y metabólica mixta</b>	<b>Gran disminución</b>	<b>Aumento (acidosis respiratoria)</b>	<b>Disminución (acidosis metabólica)</b>



# Alcalosis metabólica y respiratoria mixta (infrecuente)

Trastorno	pH	pCO <sub>2</sub>	Bicarbonato
Alcalosis metabólica	Aumento	Aumento (compensación respiratoria)	Aumento (cambio primario)
Alcalosis respiratoria	Aumento	Disminución (cambio primario)	Disminución (compensación metabólica)
Alcalosis respiratoria y metabólica mixta	Gran aumento	Disminución (alcalosis respiratoria)	Aumento (acidosis metabólica)

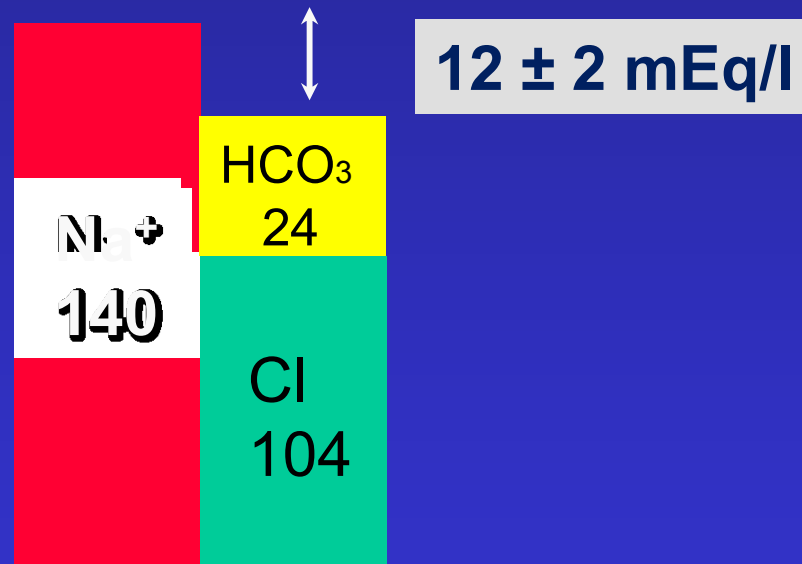
# Compensación respiratoria y metabólica de los trastornos ácido-base

Trastorno ácido-base	Cambio primario	Cambio compensador	Escala temporal del cambio compensador
Acidosis metabólica	↓ $[\text{HCO}_3^-]_p$	↓ en la $p\text{CO}_2$ (hiperventilación)	Minutos / horas
Alcalosis metabólica	↑ $[\text{HCO}_3^-]_p$	↑ en la $p\text{CO}_2$ (hipoventilación)	Minutos / horas
Acidosis respiratoria	↑ en la $p\text{CO}_2$	↑ en la reabsorción renal de $\text{HCO}_3^-$ ↑ $[\text{HCO}_3^-]_p$	Días.
Alcalosis respiratoria	↓ en la $p\text{CO}_2$	↓ en la reabsorción renal de $\text{HCO}_3^-$ ↓ $[\text{HCO}_3^-]_p$	Días

# Causas clínicas de los trastornos ácido-base

Acidosis metabólica	Acidosis respiratoria	Alcalosis metabólica	Alcalosis respiratoria
D. M. (cetoacidosis)	E. P. O. C.	Vómitos ↓ [H <sup>+</sup> ]	Hiperventilación
Acidosis láctica	Asma intensa	Aspiración nasogástrica	Enfermedades pulmonares
Insuf. Renal (ácidos inorgánicos)	Parada cardíaca	Hipopotasemia	Anemia
Diarrea intensa ↓ HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Depresión del centro respiratorio (opiáceos)	Administración I.V. De Bicarbonato	Intoxicación por ASA
Drenaje quirúrgico del intestino.	Debilidad de los músculos respiratorios.		
Pérdida renal de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Deformidades torácicas.		
Acidosis tubular renal	Obstrucción vías respiratorias		

# La brecha aniónica (anion gap)



# Brecha Aniónica o Anion-gap

=  $(\text{Na}^+) - \{(\text{Cl}^-) + (\text{HCO}_3^-)\}$  El valor normal es de 12 (10 a 14)

**Causas de ACIDOSIS con Brecha Aniónica AUMENTADA**

**Insuficiencia Renal**

**Acidosis Láctica**

**Cetoacidosis (diabética, de ayuno prolongado o alcohólica)**

**Ingestión excesiva de**

**Salicilatos**

**Metanol o Formaldehído**

**Etilenglicol**

**Paraldehído**

**Tolueno**

**Bebidas alcohólicas**

**Citrato en transfusiones masivas**

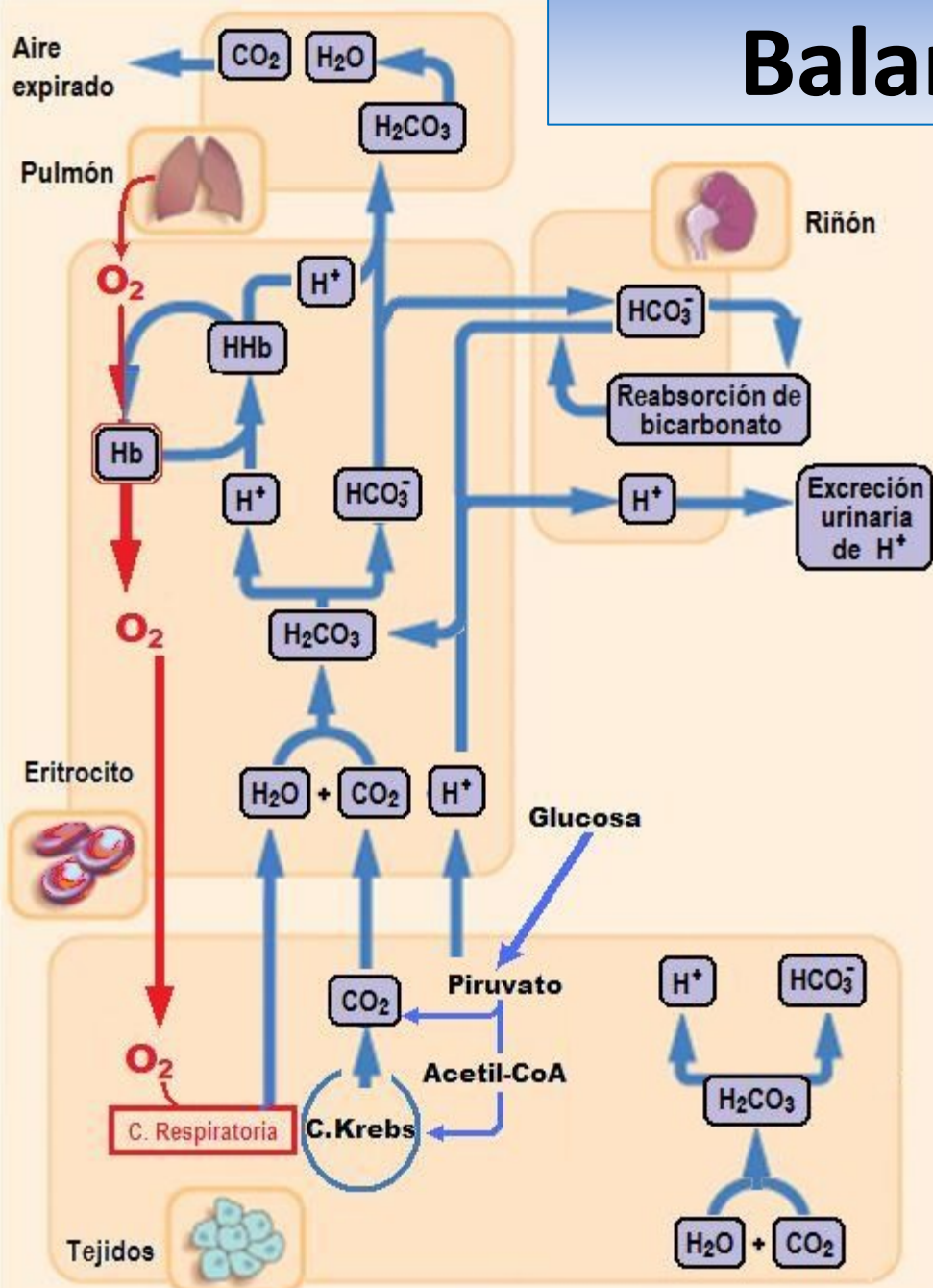


# Brecha Aniónica o Anion-gap

## ACIDOSIS CON BRECHA ANIÓNICA NORMAL

Administración de ácidos	Alimentación Parenteral	Por HCL / Colestiramina
	Administración de HCL	En alcalosis metab. Severa
Pérdidas de Bicarbonato	Gastrointestinal	Diarrea
		Drenaje biliar/pancreático
		Ureterosigmoidoscopia
	Renal	Acidosis Tubular R. proximal
		Cetoacidosis (en el Tx)
		Post hipocapnia crónica
Alteración de la excreción renal de ácido	Con hipopotasemia	Acidosis Tubular R. distal
	Con hiperpotasemia	Hipoaldosteronismo
		Perfusión renal disminuida

# Balance Ácido-base.



1. Los pulmones controlan el intercambio gaseoso con el aire atmosférico.
2. El  $CO_2$  generado es transportado en el plasma como  $HCO_3^-$ .
3. La Hb amortigua ión hidrógeno
4. Los riñones reabsorben bicarbonato filtrado en los túbulos proximales y generan nuevo bicarbonato en los túbulos distales, donde hay una secreción neta de ión hidrógeno.

**Gracias**



