

# ENERGÍA Y NO ENERGÍA

Dr. Francisco Sogorb Garri.

Real Academia de Medicina de la Comunidad Valenciana. Salón de Actos Hospital Universitario Dr. Balmis Alicante

## INTRODUCCIÓN

Hace 4.500 millones de años nuestro planeta tenía unas condiciones netamente distintas a las actuales. La atmósfera estaba constituida por nitrógeno, metano, dióxido de carbono y vapor de agua. La abundancia de elementos existentes en su superficie y profundidad nos fueron cedidos.

Proviene de la explosión de una estrella cercana a lo que iba a ser nuestro sistema solar y cuyo final fue el de supernova tipo dos; que dio origen a toda la materia que hoy constituye todo nuestro entorno.

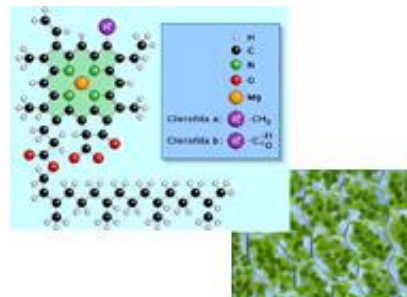
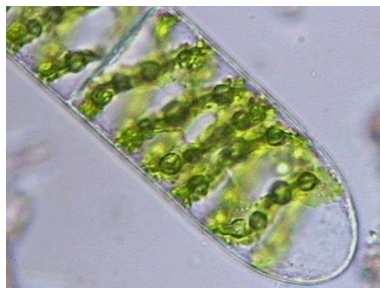


Tras unos 1000 millones de años empezaron a aparecer incipientes formas de vida en entornos con presencia de agua, una de las primeras fueron unas formaciones azul verdosas que hoy conocemos como cianobacterias que disponiéndose en agrupaciones denominadas estromatolitos fueron muy abundantes durante un periodo de 3.000 millones de años.



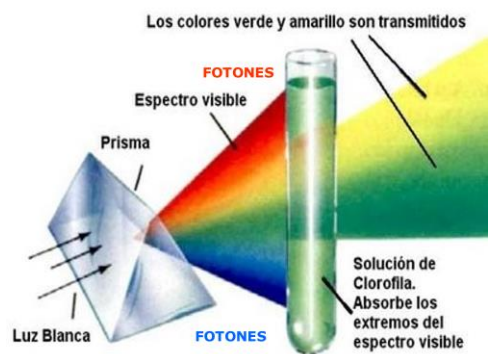
Hoy en día podemos encontrar restos de estas formaciones en algunas playas de Australia.

El análisis en profundidad de estas cianobacterias permite distinguir fácilmente la existencia de unos corpúsculos verdes que hoy conocemos como formaciones de clorofila. La clorofila está compuesta por elementos abundantes en nuestro planeta, fundamentalmente el carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y magnesio.



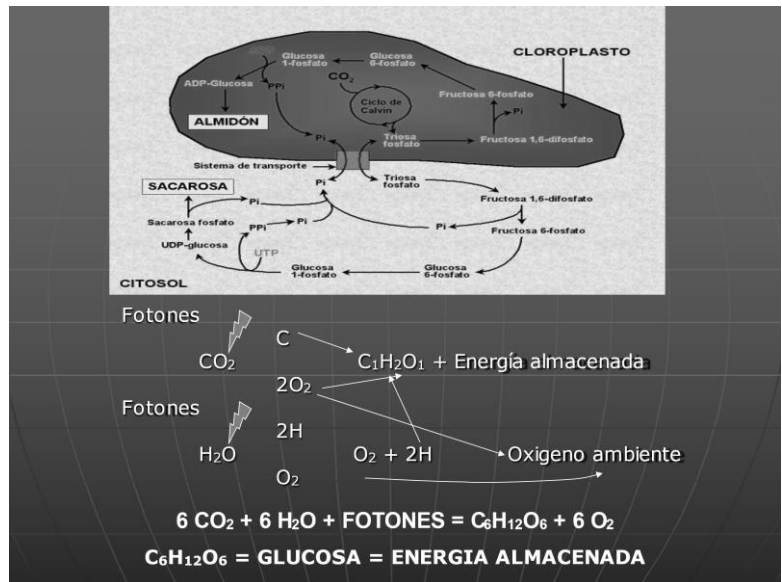
## FOTONES AMIGOS

Una de las principales propiedades de la clorofila consiste en que expuesta al espectro de luz blanca solar solo deja pasar los componentes amarillo y verde reteniendo los espectros correspondientes a la luz roja infrarroja y violeta ultravioleta, cuyos fotones están dotados de más energía. Esta circunstancia permite aseverar que los fotones del espectro solar en el campo rojo y azul serán transformados en la energía biológica que será utilizada por la mayoría de las formas de vida de este planeta.

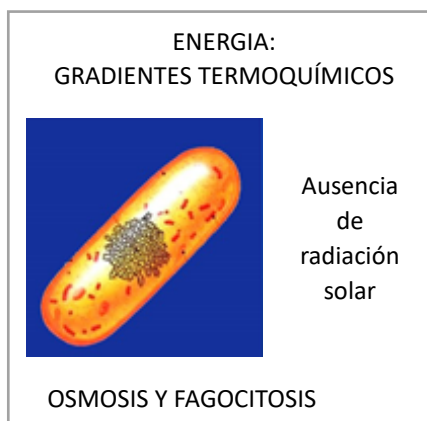


A partir de los cloroplastos presentes en las cianobacterias y en todas las formas de vida vegetal, se produce una serie de reacciones químicas en las que la energía inicial son los fotones que permiten la cesión de carbono del CO<sub>2</sub> y el aporte de hidrógeno del agua.

El producto final de esta reacción es glucosa, como forma de energía almacenada, siendo el oxígeno liberado a la atmósfera un producto residual (Fotosíntesis).

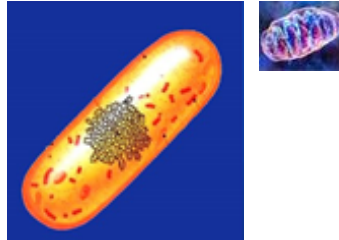


Por otra parte, en fondos marinos donde la llegada de fotones era totalmente imposible aparecieron otras formas de vida que obtenían su energía de gradientes termoquímicos e intercambios por ósmosis y fagocitosis.



## MITOCONDRIAS AMIGAS

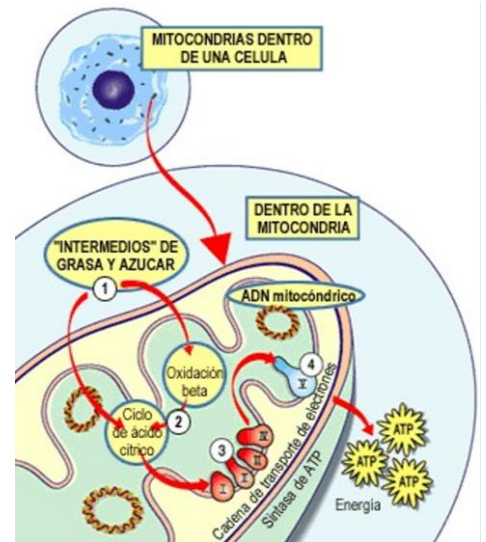
Hace unos 2000 millones de años la atmósfera estaba enriquecida con el oxígeno liberado por estromatolitos y otras formas de vida vegetal. Aparecieron otras bacterias que tenían la propiedad de obtener energía a través del oxígeno. Son las mitocondrias, que hoy forman parte de nuestra vida. Mediante un procedimiento de endosimbiosis, células que no podían utilizar la energía solar fagocitaron a estas células aisladas que eran las mitocondrias incorporándolas a su sistema.



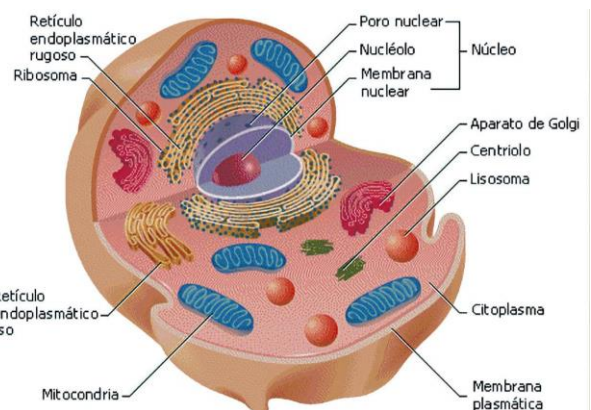
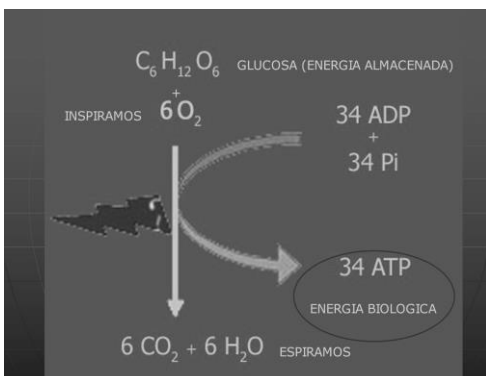
ENDOSIMBIOSIS

De esta endosimbiosis surgió el que aquellas células que no podían utilizar la energía solar almacenada en forma de glucosa pudieran procesarla y obtener energía a través del ciclo de Krebs, un circuito del que surge una nueva forma de energía que es el ATP (trifosfato de adenosina). El ATP producido en forma de energía potencial química es la base de casi todas las actividades celulares.

De esta asociación surgieron las células eucariotas, propias de los organismos pluricelulares, con la función de nutrirse y reproducirse. Estas células pueden utilizar la glucosa como energía almacenada combinada con el oxígeno para fabricar ATP. El producto residual de esta reacción es la eliminación de CO<sub>2</sub> y de agua. Toda la energía procedente de los fotones solares se ha transformado en otro tipo de energía, el ATP, que es el que hace que todo nuestro sistema funcione.



### ESTRUCTURA CELULAR EUCARIOTA ANIMAL



## CORAZÓN Y ENERGÍA

Uno de los elementos de nuestro sistema con un alto consumo energético es nuestro corazón. Lógicamente está dotado de un significativo número de mitocondrias, un 60% más que cualquier músculo esquelético.

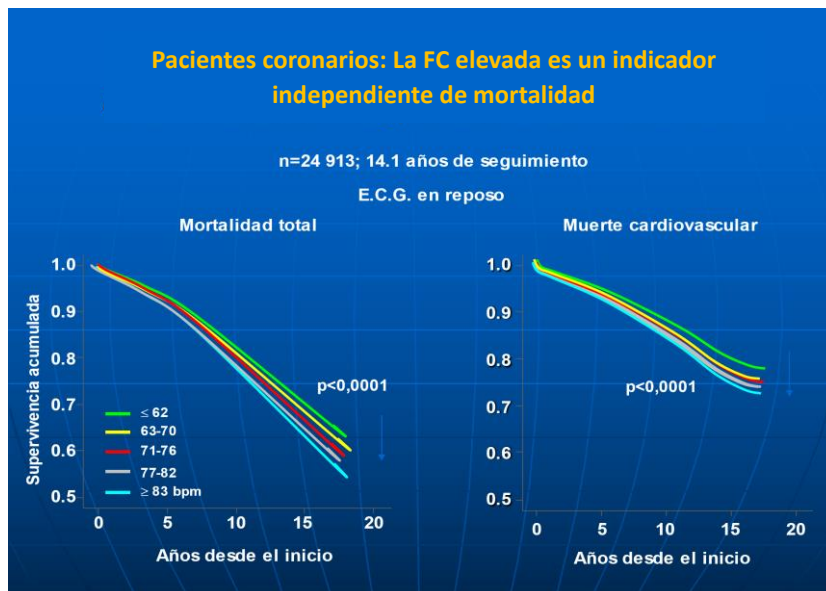


Nuestro corazón al microscopio  
Célula: Cardiomiocito

Fibras musculares

Mitocondrias

Es clásico el conocimiento de que la frecuencia cardíaca elevada tiene una serie de connotaciones negativas con relación a la morbi/mortalidad cardiovascular.



¿Cuánta energía consume el corazón en un latido?

Analizar esta circunstancia obligaba a preguntarse cuánta energía consume el corazón en un latido, teniendo presente que los determinantes fundamentales son la frecuencia cardíaca y la presión arterial con la que se trabaja.

Se tuvo que recurrir a la ingeniería y a las matemáticas para que pudiéramos responder a esta pregunta. Para ello contaba con la colaboración del Doctor ingeniero de telecomunicación Raúl Cabanes, profesor de matemáticas de la Universidad Politécnica de Madrid, y un gran amigo.



Los parámetros y cálculos realizados se exponen a continuación:

Para vencer una presión de 1mm de Hg sobre S se necesita una fuerza F:

$$F = P \cdot S = 1,333 \cdot 10^2 \text{ Pa} \cdot 7,07 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$F = 9,424 \cdot 10^{-2} \text{ N}$$

Que para desplazar  $l = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$ , supone una energía E:

$$E = F \cdot l = 9,424 \cdot 10^{-2} \cdot 0,1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$E = 9,424 \cdot 10^{-3} \text{ J} = 2,252 \cdot 10^{-6} \text{ kcal} = 2,618 \cdot 10^{-9} \text{ kw.h}$$

• ENERGIA, TRABAJO, CALOR

$$E = F \cdot d$$

Julio:  $J \rightarrow 1J = 1N \cdot m$

caloría:  $1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$   
 $1 \text{ cal} = 1 \text{ kcal} = 4,184 \cdot 10^3 \text{ J}$

kw.h  $1 \text{ kw.h} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

• POTENCIA

$$P = \frac{E}{t}$$

Vatio:  $W \rightarrow 1W = \frac{1J}{s}$

F: fuerza,  
d: desplazamiento  
Kw.h = Kilovatio hora

E: Energía  
T: tiempo

## MAGNITUDES FÍSICAS Y UNIDADES

• DENSIDAD

$$D = \frac{M}{V}$$

M: masa  
V: volumen

$D_{\text{sangre}} = 1,088 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1,088 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$

• FUERZA

$$F = m \cdot a$$

m: masa  
a: aceleración  
N: Newton

$1N = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

• PRESIÓN

$$P = \frac{F}{S}$$

F: Fuerza  
S: Superficie


Pascal:  $\text{Pa} \rightarrow 1 \text{ Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 10^{-5} \text{ bar}$

atmosfera:  $\text{at} \rightarrow 1 \text{ at} = 760 \text{ mm de Hg} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

torricelli:  $\text{tor} \rightarrow 1 \text{ tor} = 1 \text{ mm de Hg} = 1,013 \cdot 10^2 \text{ Pa}$

S: Sección de arteria de 30 mm de diámetro y 70 ml de volumen

$$V = SL$$

$$l = \frac{V}{S} = \frac{70 \text{ cm}^3}{3,14 \cdot 1,5^2 \text{ cm}^2} \cong 10 \text{ cm} = 0,1$$


$$S = \pi R^2$$

$$R = \frac{30}{2} = 15 \text{ mm} = 1,5 \text{ cm}$$

$$S = \pi \cdot 1,5^2 \text{ cm}^2 = 7,07 \text{ cm}^2$$

En cada latido del corazón se consume la energía siguiente:

PRESION / ENERGIA	130	150	170
JULIOS	1,225	1,414	1,602
KCAL	$0,293 \times 10^{-3}$	$0,338 \times 10^{-3}$	$0,383 \times 10^{-3}$
KW.H	$0,340 \times 10^{-6}$	$0,393 \times 10^{-6}$	$0,445 \times 10^{-6}$

La energía que consume un latido oscila entre 1,2 y 1,6 Julios

En nuestra vida estamos acostumbrados a medir la energía mediante escalas distintas, siendo más común para nosotros el kilovatio-hora que el julio. El julio equivale a un vatio-segundo, es decir que la energía biológica es de pequeña magnitud. En la siguiente tabla se hace referencia a diferentes consumos de energía para rangos de frecuencias entre 60 y 100 lpm (latidos por minuto) y de presiones sistólicas entre 130 y 170 mm de Hg.

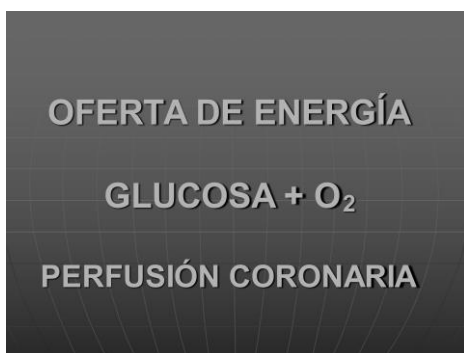
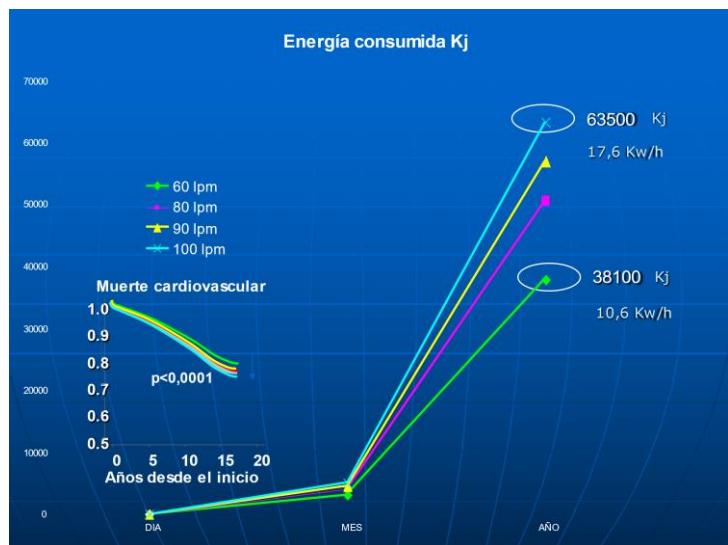
ENERGIA CONSUMIDA		PRESION SANGUINEA (mmdeHg)								
Frecuencia Cardíaca (puls/min)		130			150			170		
		DIA	MES	AÑO	DIA	MES	AÑO	DIA	MES	AÑO
60	KJ	106	3175	38100	122	3665	43981	138	4204	50451
	Kcal	25,3	760	9110	29	876	10512	33	993	11913
	Kw.h	29,4*10 <sup>-3</sup>	881*10 <sup>-3</sup>	10,6	34*10 <sup>-3</sup>	1,02	12,2	38,5*10 <sup>-3</sup>	1,15	13,8
80	KJ	141	4234	50800	163	4887	58641	185	5606	67269
	Kcal	33,8	1010	12150	39	1168	14020	44	1324	15884
	Kw.h	39,2*10 <sup>-3</sup>	1,18	14,1	45,3*10 <sup>-3</sup>	1,36	16,3	51,3*10 <sup>-3</sup>	1,54	18,5
90	KJ	159	4763	57200	183	5498	65972	208	6306	75677
	Kcal	38	1140	13670	44	1314	15770	50	1489	17869
	Kw.h	34,1*10 <sup>-3</sup>	1,32	15,9	50,9*10 <sup>-3</sup>	1,53	18,3	57,7*10 <sup>-3</sup>	1,73	20,8
100	KJ	176	5292	63500	204	6108	73302	234	7007	84086
	Kcal	42,2	1270	15190	49	1460	17520	55	1655	19855
	Kw.h	49,6*10 <sup>-3</sup>	1,47	17,6	56,6*10 <sup>-3</sup>	1,70	20,4	64,1*10 <sup>-3</sup>	1,92	23,1

1 día = 1.440 minutos - 1 mes = 30 días = 43.200 minutos - 1 año = 12 meses = 518.400 minutos

La simple observación de esta tabla permite obtener la siguiente conclusión inicial: el consumo de energía es mayor cuando se incrementa la frecuencia cardíaca que cuando se incrementa la presión arterial sistólica. Basta con observar que un corazón a 60 lpm y 170 mm de Hg de presión sistólica consume menos que un corazón a 90 lpm y 130 mm de Hg de presión sistólica. De igual forma, es fácil concluir que, por cada 10 latidos de incremento en la frecuencia cardíaca, el consumo de energía aumenta un 17%.

Si transformamos la gráfica inicial que exponía cómo la muerte cardiovascular estaba ligada a frecuencias cardíacas más elevadas, se deduce que la causa está ligada a un mayor consumo de energía.

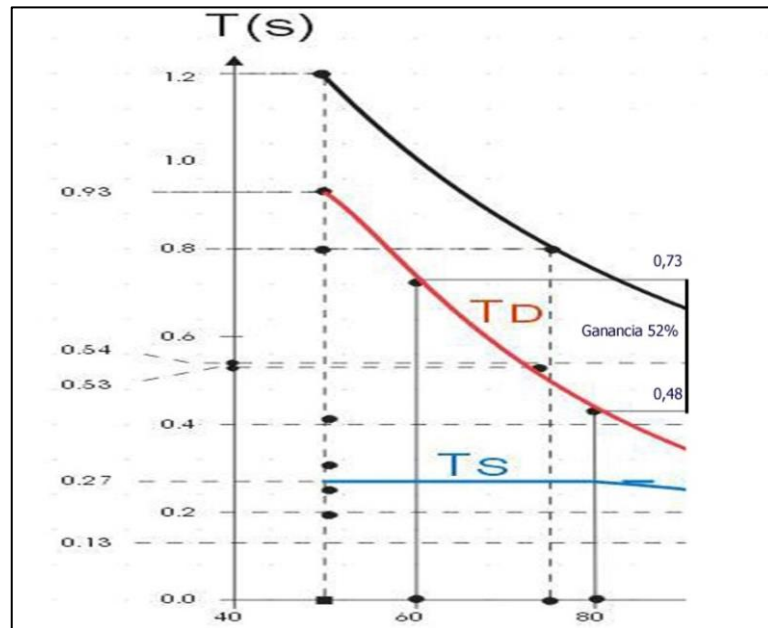
Nuestro corazón es capaz de generar frecuencias cardíacas muy elevadas y un alto consumo de energía de forma transitoria, pero la persistencia de frecuencias cardíacas elevadas no es beneficioso.



Nuestra oferta de energía al corazón depende de la llegada de glucosa y oxígeno a su sistema de utilización de la misma que se realiza mediante la perfusión coronaria.

En consecuencia, es necesario ver la variabilidad existente entre los tiempos de sístole y diástole en función de la frecuencia cardíaca y analizar dónde la perfusión coronaria es más o menos rentable, conociéndose que la perfusión coronaria se realiza fundamentalmente en diástole.

En la siguiente grafica se exponen los diferentes tiempos de sístole y diástole en función de la frecuencia cardíaca existente. Se tomó como modelo básico un corazón que trabaje a 60 lpm frente al mismo que trabaje a 80 lpm.



Nuestro matemático volvió a realizar cálculos para demostrar que la ganancia porcentual del tiempo de diástole de un corazón trabajando a 60 latidos minuto frente a 80 latidos minuto fue de un 52% favorable a 60.

Análisis de las componentes sistólica y diastólica del periodo cardíaco

- GANANCIA DEL TIEMPO DE DIÁSTOLE:**
  - AL VARIAR LA FRECUENCIA CARDÍACA DE 80 A 60 PULS/MIN

$$Td = \frac{60}{f} = Ts \quad Td \text{ a } 80 \text{ puls/min} \quad Td_{80} = \frac{60}{80} - 0,27 = 0,48 \text{ (segundos)}$$

$$Td \text{ a } 60 \text{ puls/min} \quad Td_{60} = \frac{60}{60} - 0,27 = 0,73 \text{ (segundos)}$$

Ganancia absoluta:  $G_t = Td_{60} - Td_{80} = 0,73 - 0,48 = 0,25 \text{ (segundos)}$

Ganancia relativa:  $G_r = \frac{G_t}{Td_{80}} = \frac{0,25}{0,48} = 0,52 \text{ (tanto por uno)}$

**GANANCIA PORCENTUAL: 52%**

Es momento de recordar que reducir 10 latidos supone ofertar un 17% más de energía al miocardio, al igual que reducir la frecuencia cardíaca de 80 a 60 latidos minuto supone aumentar el tiempo de perfusión coronaria un 52%.

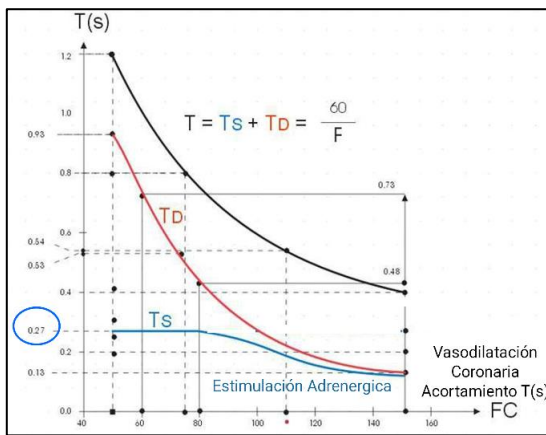
## TAQUIMIOCARDIOPATÍA

Como es conocido la taquimiocardiopatía es una cardiopatía caracterizada por disfunción y dilatación ventricular secundaria a la persistencia de una frecuencia cardíaca elevada de forma mantenida durante largo tiempo y en general reversible tras su reducción.

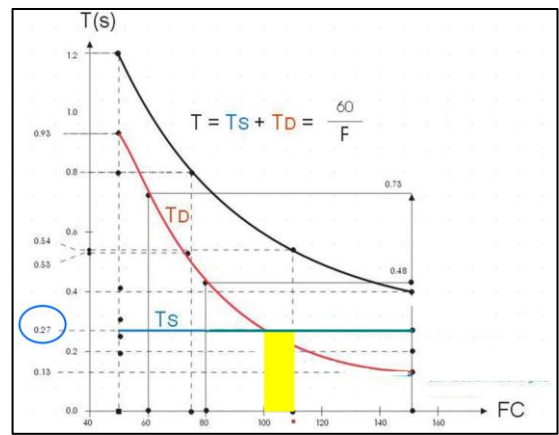
Algunas arritmias como la fibrilación auricular rápida, el flutter aurícula 2:1, la taquicardia ventricular sostenida están dentro del grupo de frecuencias cardíacas mantenidas en el tiempo en nivel elevado

En corazones jóvenes existe una adaptación frente a frecuencias cardíacas elevadas mediante un acortamiento del tiempo de sístole facilitado por estímulo adrenérgico durante el ejercicio, lo que permite un discreto aumento del tiempo de diástole y por tanto aumentar la perfusión coronaria. Paralelamente existe una dilatación de las arterias coronarias, circunstancia que se pierde con el tiempo.

En corazones de más edad a partir de 100 lpm el tiempo de sístole no se acorta en presencia de una taquiarritmia al perderse el estímulo adrenérgico existente durante el ejercicio y no se produce vasodilatación coronaria generosa. Todo ello da lugar a una reducción de la perfusión coronaria por un tiempo de diástole más corto.



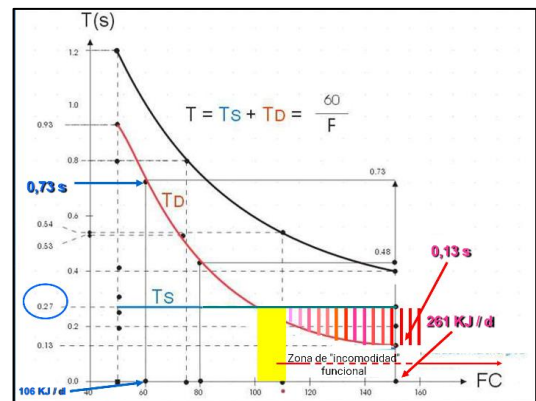
Corazón joven durante ejercicio



Corazón durante una taquiarritmia

A partir de 100 lpm y siempre de forma mantenida, funcionalmente la obtención de energía del miocardio es distinta a la que existe en condiciones de menor frecuencia cardíaca.

Por otra parte, con lo que hoy sabemos, el consumo de energía a 60 lpm es de 106 kilojulios día. Por el contrario, un corazón trabajando a una frecuencia de 150 lpm el consumo de energía es de 261 kilojulios día, una cifra marcadamente elevada para que el sistema de obtención de energía pueda ser satisfecho. En consecuencia, a esta zona de frecuencia cardíaca superior a 100 lpm se le podría definir como zona de incomodidad funcional lo suficientemente válida para iniciar el desarrollo de taquimiocardiopatía en dependencia y progresión con el tiempo y la mayor frecuencia cardíaca.



Es bueno recordar que, según la tabla de consumos de energía, la frecuencia cardíaca es más determinante que la presión arterial generada en lo que se refiere a energía consumida.



## ENERGÍA Y NO ENERGÍA

En términos de energía, podríamos definir la vida como energía suficiente, la isquemia como déficit de energía y la necrosis como ausencia de energía. Las mitocondrias con déficit de energía agradecen frecuencias cardíacas próximas a 60 latidos por minuto, para obtener mayor ahorro energético y mayor perfusión miocárdica.

Fármacos y programación de marcapasos pueden facilitar que el corazón que lo necesite se pueda beneficiar de esta frecuencia.

Y ya para finalizar, existe una forma de energía especial, gratuita, que facilita mucho las cosas alrededor de nuestra vida. Gracias, Juan Caturla; gracias, Antonio Server; gracias, Raúl Cabanes, por vuestra energía de la amistad.

También tenemos que agradecer la existencia de los fotones que nos permiten vivir, de nuestras mitocondrias que facilitan la transformación de nuestra energía, y de los 60 latidos minuto que agradece nuestro corazón.

