

ABP-4 orientado al aprendizaje e integración del Metabolismo. Charlas de Gimnasio

Alicia Megías Fresno. Mercedes Oñaderra Sánchez.

Departamento de Bioquímica y Biología Molecular I. Facultad de Ciencias Biológicas.
Universidad Complutense de Madrid. C/ José Antonio Novais, 12. 28040 Madrid.
amegias@bbm1.ucm.es mos@bbm1.ucm.es

Resumen: el estudio del Metabolismo realizado en la forma tradicional, es decir, entendido como aprendizaje de una colección de rutas metabólicas, una serie de fórmulas y una variedad de mecanismos de regulación, abrumba a los alumnos y conduce a su desmotivación. Este problema ABP pretende ayudar a los estudiantes a conseguir una visión integrada del Metabolismo y a entenderlo como un proceso con una lógica y regulación exquisitas, fomentando además su espíritu crítico. Cuatro estudiantes, de perfil muy diferente, discuten en el gimnasio acerca de los efectos del ejercicio físico y la conveniencia o no de tomar ciertos productos para adelgazar o para mejorar su rendimiento deportivo. El planteamiento del problema despierta la curiosidad de los alumnos y su intento para resolverlo en equipo les conduce de forma amena a la comprensión del significado del metabolismo y al entendimiento de las complejas interrelaciones metabólicas que tiene lugar en los humanos.

Palabras clave: Combustibles metabólicos. Glicolisis. Fermentación láctica. Glucógeno. Transporte de lípidos. β -oxidación. Generación de ATP. Regulación enzimática. Regulación hormonal. "Drogas mágicas".

OBJETIVOS EDUCATIVOS

Objetivos generales

- Conseguir que los estudiantes aprecien la relación de la Bioquímica con situaciones de la vida diaria con las que pueden sentirse identificados.
- Favorecer la comprensión e integración del metabolismo.
- Desarrollar la capacidad de analizar bibliografía científica en inglés de forma comprensiva.
- Fomentar el espíritu crítico necesario para evaluar la calidad y fiabilidad de las fuentes de información.

Objetivos específicos

Después de realizar el problema ABP, los estudiantes serán capaces de:

- Comprender el concepto de energía en un contexto bioquímico.
- Distinguir catabolismo y anabolismo.
- Identificar las fuentes bioquímicas de energía y discutir cómo se metabolizan los alimentos para generar ATP.
- Entender la importancia de la respiración celular.
- Discutir los perfiles metabólicos de distintos órganos y tejidos, y establecer las interrelaciones metabólicas entre ellos.
- Entender el papel de las hormonas en la regulación del metabolismo.
- Comprender la flexibilidad del metabolismo y su importancia para la adaptación a diferentes condiciones fisiológicas.
- Valorar la importancia de la actividad física para el mantenimiento de la salud.
- Distinguir las fuentes de información de calidad de aquellas otras con escaso rigor científico o constituyentes de publicidad engañosa.

METODOLOGÍA

- Actividad de aprendizaje cooperativo: Equipos formados por 3 alumnos.
- Presentación del problema en clase y puesta a disposición de los alumnos a través de la plataforma de docencia virtual (Campus Virtual de la UCM).
- Requisitos: los alumnos deben conocer fundamentos de Bioquímica. Con alumnos de primer curso son necesarias clases previas convencionales para explicar nociones básicas del metabolismo y su regulación. El problema puede ser fácilmente adaptado para cubrir las necesidades educativas en diferentes niveles y disciplinas (Biología, Fisiología, Nutrición, etc.).
- Tiempo disponible para la resolución del problema: 4 semanas.
- Tutorías: 2 horas en el aula. La primera hora se dedica a orientar a los alumnos para que identifiquen sus necesidades de aprendizaje en función de los datos presentados en el enunciado del problema. La segunda puede ayudar a resolver dudas surgidas en la interpretación de las publicaciones científicas (en inglés y de relativa complejidad) que se citan en la sección “Discusión” y son de consulta obligatoria.
- Discusión del problema y evaluación del aprendizaje: sesión única en el aula de 2 horas de duración utilizando una presentación de Power Point interactiva y un sistema de mandos electrónicos de respuesta. Se aconseja la presencia de un profesor adicional para la asistencia técnica.

PROBLEMA ABP

CHARLAS DE GIMNASIO

Mayo en Madrid. Pedro ha acudido al Gimnasio *SuperBody* como todos los martes y jueves. Es estudiante de la Facultad de Biología de la UCM y juega en el

equipo de rugby de la Complutense. En breve se celebrarán los campeonatos universitarios y su equipo tiene muchas posibilidades de clasificarse entre los finalistas. Por eso, entrena duramente para estar en forma. Últimamente, el gimnasio está muy concurrido y Pedro ha hecho nuevos amigos: Diego, Marta, y Lorena, estudiantes de Turismo, Bioquímica y Periodismo, respectivamente.

Pedro: hola a todos. ¿Qué tal van los ejercicios?

Lorena: buff, ya estoy cansada de pedalear. Supongo que esto mejorará con el tiempo porque llevo dos semanas a tope y no he adelgazado nada. Es que me pierden los dulces y este invierno he abusado un poco. Quería perder 6 kilos antes del verano pero creo que no lo voy a conseguir.

Marta: no es tan fácil como parece. Yo sólo he perdido medio kilo en un mes y en junio dejaré de venir porque empiezo los exámenes.

Diego: os desanimáis enseguida. Yo llevo haciendo ejercicios de musculación durante años y ya veis el resultado. Un cuerpo 10.

Pedro: no fardes tanto. Yo diría que tienes que perfilar algo más para ser el hombre 10.

Diego: puede que tengas razón. Estos últimos meses me he descuidado un poco pero tengo un remedio que no falla. En menos de dos semanas, me quito la grasilla que me sobra.

Lorena: pues podías decirnos el truco. Si se puede quitar la grasa tan rápido ¿qué hacemos aquí?

Pedro: no hay remedios mágicos, no os engañéis.

Lorena: pues yo he visto algo en Internet sobre quemagrasas que dicen que funcionan. No sé si será verdad. Creo que se llama carnitina o algo así.

Pedro: dirás carnitina.

Lorena: ya salió el científico. Qué más da. Diego, ¿es eso lo que vas a utilizar?

Diego: no, mi pócima mágica se llama Caswell 392. Son unas pastillas que compro por Internet pero también se pueden encontrar con los nombres de Sulfo Black o Nitro Klenup. Ya las he probado otras veces y os aseguro que funciona. Me la recomendó hace un par de años un amigo culturista muy enterado.

Pedro: no sé qué será eso. Si tú dices que funciona ... Yo también he oído lo de la carnitina para adelgazar y para aumentar el rendimiento deportivo. Por lo que he estudiado podría tener fundamento pero que yo sepa, nadie en el equipo la usa. Nuestro entrenador es muy legal. Mucho entrenamiento, y el protocolo para antes de las competiciones: hacemos ejercicio intenso unos días y luego, reposo y sobrealimentación con hidratos de carbono. Así cargamos los músculos con glucógeno para los partidos.

Diego: o sea, que tú también tienes tus truquitos. Y eso del glucógeno ¿nos vendría bien a nosotros? ¿Perderíamos grasa?

Pedro: yo creo que no. El glucógeno y la grasa son distintos combustibles metabólicos. Por ejemplo, cuando mi ejercicio es de intensidad baja o media, mis músculos usan preferentemente grasa pero si el ejercicio es muy intenso, como

en los partidos cañeros, usan preferentemente glucógeno. O eso dice nuestro entrenador.

Marta: que curioso. ¿Por qué pasa eso? Yo siempre pensé que con el ejercicio se quemaba sólo grasa. Por eso vengo al gimnasio. Bueno, pues a lo mejor también a ti te venían bien la carnitina o las pastillas de Diego para quemar mejor la grasa y jugar superpartidos.

Lorena: me estoy aburriendo. Yo no entiendo de glucógeno, ni de carnitina ni de combustibles metabólicos. Sólo sé que Marta y yo queremos perder unos kilos y estar estupendas este verano, que Diego quiere quitarse un poco de grasa y perfilar músculo y que tú quieres rendir a tope en el partido del año. Y mucha gente usa esos productos. Por algo será.

Marta: totalmente de acuerdo. Miramos en Internet donde se puede comprar carnitina o el Caswell ése, y pasamos de gimnasio.

Pedro: yo creo que antes de tomar nada convendría informarse. Puede que la carnitina funcione pero es mejor estar seguros. Y quiero averiguar qué son las pastillas mágicas de Diego. Y lo más importante, que estos potingues no vayan a ser peligrosos. Podemos mirar en Internet y consultar en las Bibliotecas de las Facultades. El próximo martes veremos qué hemos averiguado.

DISCUSIÓN: ¿SON REALMENTE MILAGROSOS ESTOS PRODUCTOS?

Una semana después Pedro, Diego, Marta y Lorena se reúnen y cada uno de ellos aporta la información que ha conseguido.

Pedro

Ha encontrado este gráfico (Fig. 1) que muestra el gasto energético y el tipo de combustible metabólico utilizado en función de la intensidad del ejercicio.

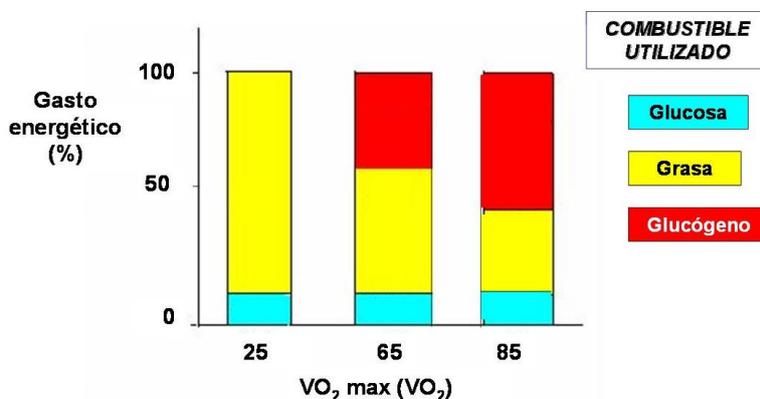


Figura 1. Gasto energético y tipo de combustible metabólico utilizado en función de la intensidad del ejercicio. VO₂ máx: cantidad máxima de oxígeno que puede ser utilizado durante un ejercicio exhaustivo o de máxima intensidad por unidad de tiempo. Unidades: ml O₂ consumido / min/ Kg de peso.

También ha revisado textos de Bioquímica y artículos de investigación muy interesantes sobre el glucógeno, la carnitina y el Caswell 392:

Goforth, Jr.; Harold, W.; Arnall, D.A.; Bennett, B. L. y Law, P.G. 1997. Persistence of supercompensated muscle glycogen in trained subjects after carbohydrate loading. *J. Appl. Physiol.*, 82: 342-347.

Van Loon, L. J. C.; Greenhaff, P. L.; Constantin-Teodosiu, D.; Saris, W. H. M. y Wagenmakers, A. J. M. 2001. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *Journal of Physiology*, 536: 295-304.

Miranda, E. J.; McIntyre, I. M.; Parker, D. R.; Gary, R.D. y Logan, B. K. 2006. Two deaths attributed to the use of 2,4-Dinitrophenol. *J. Anal. Toxicol.* 30: 219-222.

Diego

Ha encontrado información sobre sus pastillas Caswell 392 en estas páginas web:

<http://www.becomenatural.com/blog/2007/04/24-dinitrophenol-24-dnp-magical-diet-or-deathly-poisson/>

<http://www.promusclemag.com/forum/t46797-dinitrophenol-dnp.html>

<http://www.tupincho.net/foro/uso-del-dnp-dinitrofenol-en-el-culturismo-t15445.html>

Marta

Ha revisado libros y artículos de Bioquímica (muchos de ellos en inglés) y ha visto algo que puede ser interesante (Figuras 2 y 3).

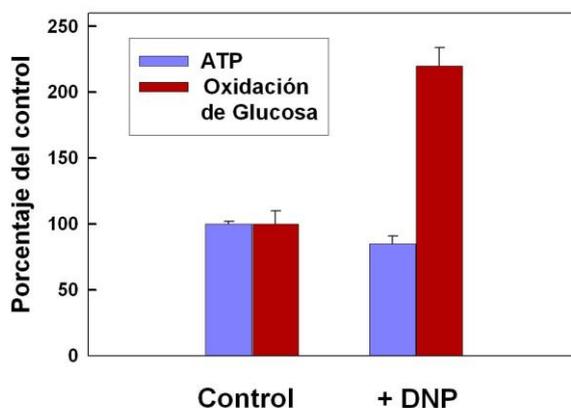


Figura 2. Efecto del DNP sobre la función mitocondrial en miotubos humanos. Estos precursores de las células musculares se incubaron en presencia (+DNP) o en ausencia de DNP (Control) y se determinaron los niveles de ATP y la oxidación de la glucosa. Los datos se expresan como porcentajes de los respectivos valores control. (Figura elaborada con los datos extraídos de las Figuras 1 y 3 en: Gaster, 2007).

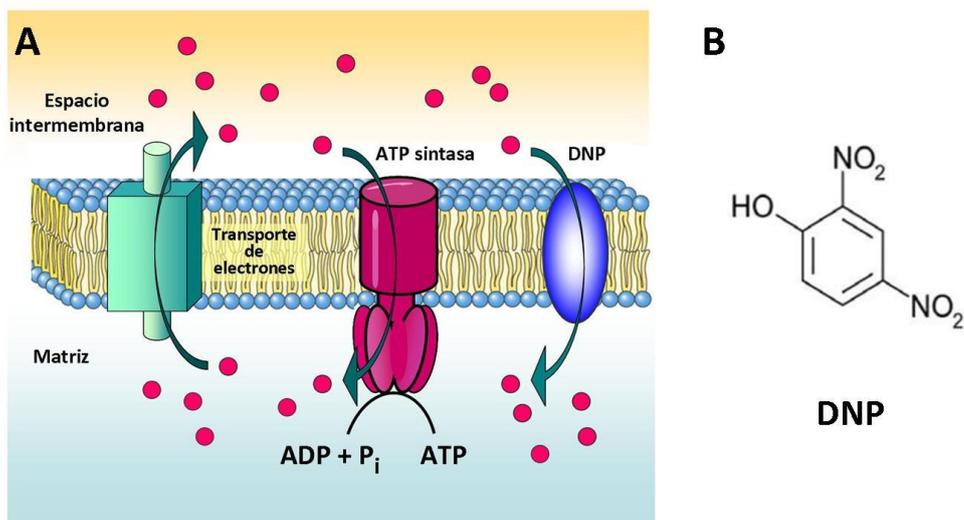


Figura 3. A: Transporte de electrones y síntesis de ATP en la mitocondria. El esquema muestra el mecanismo de acción del DNP. Los protones se han representado como círculos rojos. B: Estructura del DNP.

Lorena

Muy interesada en la “carnitina”, ha hecho una búsqueda en Internet y ha encontrado multitud de páginas web. En ellas dicen que es “un aminoácido quemador de grasa con muchos efectos beneficiosos”. Además se puede comprar fácilmente y es barata.

¡Por fin va a perder sus kilos cómodamente y sin ninguna complicación!

<http://www.alimentacion-sana.com.ar/portal%20nuevo/compresano/plantillas/quemadores01.htm>

<http://www.encuentros.uma.es/encuentros118/carnitina.htm>

<http://canisport.blogspot.com/2009/11/l-carnitina-cual-es-su-importancia.html>

Los cuatro amigos han conseguido interpretar toda la información recolectada y resolver sus dudas. Ahora estudian la situación y deciden qué deben hacer.

CUESTIONES

1. Diego quiere tomar Caswell 392. ¿Qué es este producto? A nivel molecular, ¿cuál es su mecanismo de actuación? ¿Será eficaz para bajar peso? ¿Por qué? ¿Tiene alguna contraindicación? ¿Qué debería hacer Diego?

2. Lorena quiere eliminar unos kilos de grasa que supone son la consecuencia del exceso de dulces que ha tomado durante meses. ¿Se pueden transformar los hidratos de carbono en grasa? Si es posible, ¿cómo ocurre esta transformación? ¿Sería posible la transformación inversa: Grasas \longrightarrow Hidratos de Carbono?
3. Durante el ejercicio se consumen diversos combustibles metabólicos como se muestra en la figura 1. El músculo esquelético activo utiliza glucosa, glucógeno y ácidos grasos, pero su contribución al gasto energético total es distinta según la intensidad del ejercicio. ¿De dónde proceden: a) la glucosa, b) el glucógeno, c) los ácidos grasos?
4. ¿Cómo se obtiene energía a partir de estas moléculas? Pedro y Marta, como buenos científicos, han hecho un esquema sencillo para explicarlo a sus amigos. Haced vuestro propio esquema.
5. Pedro está muy interesado en aumentar el contenido de glucógeno muscular para mejorar su rendimiento deportivo el día del partido. ¿Es eficaz el procedimiento que le recomienda su entrenador para conseguirlo? ¿Cómo se sintetiza el glucógeno? ¿Cuál es la enzima reguladora de este proceso? ¿Qué hormona estimula esta síntesis?
6. Supongamos que en la final del campeonato de rugby, la intensidad media del ejercicio que realizará Pedro supone el 75% VO_2 max. ¿Aumentará la concentración de lactato en los músculos activos? (Seguramente ya lo sabéis pero si no estáis seguros os puede ayudar el artículo de VanLoon et al., 2001).
7. ¿Qué es la carnitina? ¿Es un aminoácido como indican algunas de las páginas web consultadas? ¿Cuál es su función metabólica? ¿Será eficaz para que Lorena elimine la grasa que tanto le preocupa? ¿Por qué creéis que sí o que no?
8. Marta creía que durante el ejercicio se consumía sólo grasa. Ahora ya sabe que pueden usarse distintos combustibles y que contribuyen al gasto energético total en distintos porcentajes en función de la intensidad del ejercicio que se realiza. ¿Por qué disminuye el consumo de ácidos grasos por el músculo cuando el ejercicio es intenso?
9. ¿Podría mejorar Pedro su rendimiento deportivo en los partidos si ingiriese carnitina? ¿Qué datos le habrán hecho llegar a una conclusión determinada?
10. Finalmente, ¿qué opinión os merecen las distintas fuentes de información que han consultado nuestros amigos?

SESIÓN DE EVALUACIÓN: PRESENTACIÓN INTERACTIVA

Se muestra una parte de la presentación interactiva utilizada en el curso 2010-2011 en primer curso del Grado en Biología. Sin embargo, este ABP puede adaptarse fácilmente para su empleo en diversos Grados (Bioquímica, Farmacia, Medicina, Veterinaria,...) y asignaturas (Biología, Fisiología, Nutrición, etc.).

C2

Respecto a la transformación Hidratos de Carbono \rightleftharpoons Grasas, ¿cuál de las siguientes afirmaciones es la correcta?:

- A.- Es posible la transformación de hidratos de carbono en grasas pero la transformación de grasas en hidratos de carbono no es posible en ningún organismo
- B.- Es posible la transformación de hidratos de carbono en grasas mediante la ruta de las pentosas
- C.- En humanos, es posible la transformación de hidratos de carbono en grasas pero no a la inversa
- D.- La transformación de hidratos de carbono en grasas requiere la participación, entre otras, de la enzima piruvato descarboxilasa
- E.- La transformación de hidratos de carbono en grasas se produce mediante el ciclo del glioxilato

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

Combustibles utilizados en función de la intensidad del ejercicio

Intensidad del ejercicio (% VO ₂ max)	Glucosa (%)	Grasa (%)	Glucógeno (%)
25	10	90	0
65	20	40	40
85	15	25	60

C3

Respecto a los ácidos grasos que utiliza el músculo esquelético como combustible, ¿cuál de las siguientes afirmaciones es **FALSA**?

- A.- Pueden proceder de los triglicéridos del tejido adiposo, los cuales son hidrolizados por lipasas intracelulares
- B.- Son transportados en la sangre por la albúmina
- C.- Pueden proceder de los triglicéridos sintetizados por el hígado y transportados por las VLDL
- D.- Pueden proceder de la hidrólisis de los TG endógenos de la fibra muscular
- E.- Son transportados en la sangre por la carnitina

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

C4

Respecto al origen de los hidratos de carbono que utiliza el músculo esquelético como combustible, ¿cuál de las siguientes afirmaciones es **VERDADERA**?

- A.- La glucosa procede del tejido adiposo
- B.- El glucógeno procede del tejido adiposo
- C.- El glucógeno muscular proporciona energía para el ejercicio
- D.- El glucógeno muscular libera glucosa a la sangre gracias a la enzima glucosa-6-fosfatasa
- E.- El glucógeno hepático no puede proporcionar glucosa al músculo esquelético

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

Origen y utilización de los combustibles

A pesar de lo que dicen muchas páginas web...

$$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3 - \text{N}^+ - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{COO}^- \\ | \qquad | \\ \text{CH}_3 \qquad \text{OH} \end{array}$$

La carnitina NO es un aminoácido

Figura 4.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía básica

- Berg, J. M.; Tymoczko, J. L. y Stryer, L. 2008. *Bioquímica*. 6ª edición. Ed. Reverté.
- Champe, P. C.; Harvey, R. A. y Ferrier, D.R. 2008. *Bioquímica*. 4ª edición. Ed. Wolters Kluwer Health España S.A.
- Nelson, D. L. y Cox, M. M. 2009. *Lehninger. Principios de Bioquímica*. 5ª edición. Ed. Omega.
- Voet, D.; Voet, J. G. y Pratt C. W. 2007. *Fundamentos de Bioquímica*. 2ª edición. Ed. Panamericana.

Bibliografía específica

- Goforth, H. W. Jr.; Arnall, D. A.; Bennett, B. L. y Law, P. G. 1997. Persistence of supercompensated muscle glycogen in trained subjects after carbohydrate loading. *J. Appl. Physiol.*, 82: 342-347.
- Kiens, B. 2006. Skeletal muscle lipid metabolism in exercise and insulin resistance. *Physiol. Rev.*, 86: 205-243.
- Miranda, E. J.; McIntyre, I. M.; Parker, D. R.; Gary, R.D. y Logan, B. K. 2006. Two deaths attributed to the use of 2,4-Dinitrophenol. *J. Anal. Toxicol.*, 30: 219-222.
- Sahlin, K.; Sallstedt, E-K.; Bishop, D. y Tonkonogi, M. 2008. Turning down lipid oxidation during heavy exercise. What is the mechanism? *J. Physiol. Pharmacol.*, 59: 19-30.
- Stephens, F. B.; Constantin-Teodosiu, D. y Greenhaff, P. L. 2007. New insights concerning the role of carnitine in the regulation of fuel metabolism in skeletal muscle. *J. Physiol.*, 581.2: 431-444.
- VanLoon, L. J. C.; Greenhaff, P. L.; Constantin-Teodosiu, D.; Saris, W. H. M. y Wagenmakers, A. J. M. 2001. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *J. Physiol.*, 536: 295-304.
- Gaster, M. 2007. Insulin resistance and the mitochondrial link. Lessons from cultured human myotubes. *Biochim Biophys Acta.*, 1772: 755-765.

RECURSOS ELECTRÓNICOS

Páginas web con información diversa y publicidad sobre el supuesto poder adelgazante de la carnitina y el dinitrofenol.

<http://www.becomenatural.com/blog/2007/04/24-dinitrophenol-24-dnp-magical-diet-or-deathly-poisson/>

<http://www.promusclemag.com/forum/t46797-dinitrophenol-dnp.html>

<http://www.tupincho.net/foro/uso-del-dnp-dinitrofenol-en-el-culturismo-t15445.html>

<http://www.alimentacion-sana.com.ar/portal%20nuevo/compresano/plantillas/quemadores01.htm>

<http://www.encuentros.uma.es/encuentros118/carnitina.htm>

<http://canisport.blogspot.com/2009/11/l-carnitina-cual-es-su-importancia.html>

<http://www.lineayforma.com/gimnasio/los-efectos-de-la-carnitina-en-el-deporte.html>

Recibido: 21 diciembre 2011.

Aceptado: 4 septiembre 2013.