



Les Cianobacteries: seres esceicionales que nos dan y nos quiten la vida

Figura 1. Masa xelatinoso grande de Cianobacteries (*Anabaena* sp.) xorreciendo sobre un sustratu sólidu (cementu) en Sotu Cangues (Cangues d'Onís) nel iviernu de 2013. Semeya: J.L. Caso

Figura 2. Masa de Cianobacteries non identificaes («verdín» en segundu planu tres de los nenúfares) xorreciendo nun estanque de Valencia de Don Juan (Lleón), n'agostu de 2013. Semeya: J.L. Caso

Por **José Luis Caso Machicado**
Profesor Titular xubiláu de Microbioloxía
Departamentu de *Biología Funcional*
Universidá d'Uviéu

ENTAMU

Los biólogos estremamos ente dos grandes grupos de seres vivos en función de la complexidá de la so estructura celular. Per un llau, tenemos el primer gran grupu, los seres **Eucariotes**, que tienen célules complexes nes qu'hai un nucleu bien definíu, que contién el material xenético de la célula y que ta aisláu del citoplasma pola membrana nuclear (la pallabra eucariota quier dicir en griegu «bon nucleu»). Amás, les célules eucariotes tienen una serie d'orgánulos internos como'l retículu endoplásmicu, l'aparatu de Golgi, les mitocondries, etc. Dientro d'esti gran grupu de seres podemos atopar tanto organismos unicelulares (xeneralmente microscópicos), agora denomao Protistes, como les lledos, dalgunos tipos d'algues o los antiguos Protozoos, como tamién seres pluricelulares, como les algues macroscópiques, al igual que toles plantes y los animales ensin esceición, incluyíos los seres humanos.

El segundu gran grupu de seres vivos son los **Procariotes**, pallabra que quier dicir «anterior al nucleu o precursor del nucleu». Nesti casu, el material xenético nun ta zarráu nun nucleu llendáu por una membrana, sinón que flota llibremente nel citoplasma de la célula. Per otru llau, les célules procariotes nun tienen tolos orgánulos internos yá mencionaos. Nuna pallabra, los Procariotes tienen una arquiteutura celular

abondo más sencilla que la de los Eucariotes. En xeneral, sacante esceiciones, los Procariotes son unicelulares, y polo tanto microscópicos, y dientro d'ellos namái conocemos güei dos subgrupos: les **Bacteries** y les **Arquees**.

Pues bien, l'oxetu d'esti artículu, **les Cianobacteries, son un grupu de microorganismos con una estructura celular procariota dafechu, más en concreto bacteriana**, y asina se reconoz na «biblia» de los microbiólogos, el *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* (Garrity 1984).

Sicasí, consideróse a lo llargo de décades qu'estos microorganismos yeren algues y dioseyos el nome de Cianofícees, por analoxía con otros grupos de verdaderes algues pigmentaes como les Clorofícees, Rodofícees o Feofícees. Históricamente, tamién les llamaren algues azules o verde-azulaes, Cianofites o inclusive microalgues. Hay que solliñar que tovía anguaño hai muchos biólogos y otros especialistas que siguen remanando estos términos, güei del too obsoletos.

La razón d'esta confusión ye mui comprensible, darréu que les Cianobacteries xorrecen en grandes mases cola apariencia d'ocla, d'algues, tanto cuando espoxiguen sobre sustratos sólidos (Fig. 1) como sobre l'agua (Fig. 2) y amás, a semeyanza de la ocla, son fotosintétiques.

Los sos hábitats son pervarios, diendo dende suelos normales o desérticos a fontes termales (hasta 74 °C), pasando per hábitats hipersalinos, superficie de peñes y otros sustratos sólidos ya incluyendo agua tanto dulce como salao.

Cuando estos microorganismos habiten n'agua dulce, pueden experimentar verdaderos españíos poblacionales si se dan les condiciones afayadices, ello ye: agua más o menos estancao, preferentemente eutrofizao (rico en nitróxenu y sobre manera en fósforu), abundante radiación solar, temperatures relativamente elevaes (15-30 °C), pH neutro o básico (ente 6 y 9) y ausencia de vientu. Estes condiciones danse con frecuencia en llagos, charques, fontanes, bebederos, preses de riego, remanses de ríos, estanques como'l de la Figura 2, pero tamién na cola de banzaos destinaos a la obtención d'agua pa consumu humanu, como se verá más alantre. Les cantidaes astronómiques de cianobacteries que s'acumulen nestos casos dan llugar a lo que popularmente se llama *verdín* y que cuasi tol mundu camienta (erróneamente) que ta formao por ocla. Magar que la ocla auténtico tamién forma verdín, n'agua rico en nutrientes esto ta formao normalmente por Cianobacteries.

1ª PARTE: DELLES PECULIARIDADES DE LES CIANOBACTERIES

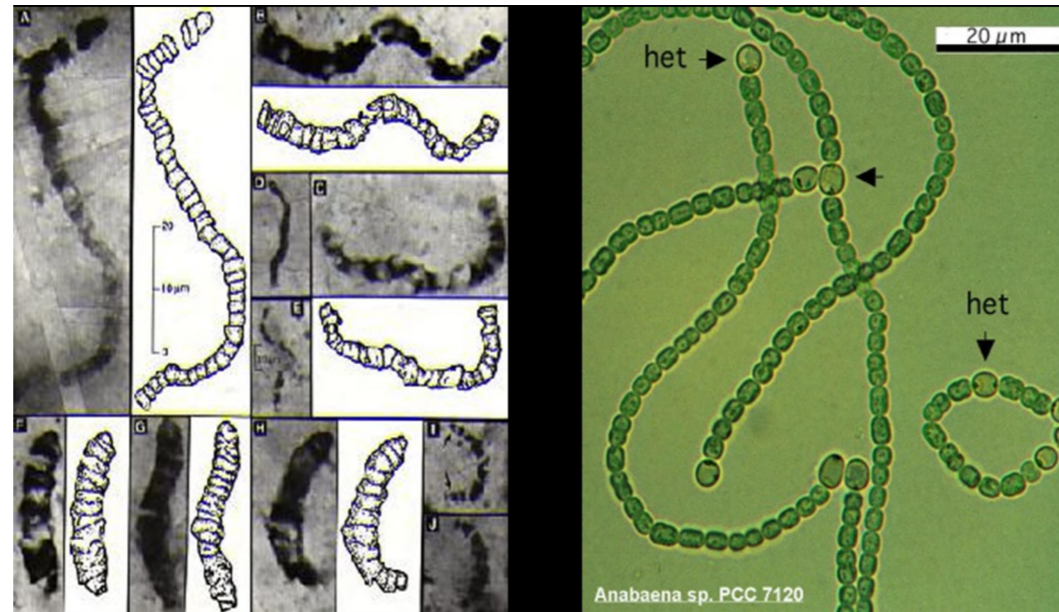
Les Cianobacteries son seres ciertamente singulares y ello ye poles razones que s'enumeren nesti apartáu y nel viniente:

1) Magar de ser bacteries, y a diferencia de la inmensa mayoría d'estes, nun son unicelulares, sinón que formen llarguísimos filamentos de miles y miles (o millones) de célules (Fig. 3B), que s'entrecrucen al empar ente sí pa dar les enormes mases visibles a simple vista que s'amosaron enantes nes Figures 1 y 2.

2) Son los «fósiles vivientes» más antiguos que se conocen, con gran diferencia sobre cualesquier otru ser vivu, y con toa seguridad tuvieron ente los primeros seres vivos n'apaecer sobre la Tierra, darréu que los microfósiles más antiguos atopaos hasta agora, formaos hai unos 3.500 millones d'años (en delantre Ma), presenten una gran semeyanza estructural coles Cianobacteries actuales (Fig. 3), aunque tamién con toa seguridad tuvo d'haber microorganismos unicelulares con anterioridá a los pluricelulares amosaos equí. Si aceutamos que los humanos modernos (*Homo sapiens*) apaecimos sobre la Tierra hai entre 100.000 y 200.000 años (Pääbo, 2015), resulta que les Cianobacteries lleven existiendo un periodu de tiempu entre 17.500 y 35.000 vegaes más llargu que la nuesa propia especie.

Les Cianobacteries lleven espulsando y acumulando O_2 nel agua y na atmósfera, y afitando'l nitróxenu, dende hai como mínimo 3.500 millones d'años, munchísimo primero que les plantes. Ensin elles nun sedríemos quien a existir nin les plantes, nin los animales, nin –n'últimu términu– los seres humanos

Un tipu especial de fósiles son los denomaoos **estromatolitos**, formaos pola agregación de numeroes capes de microorganismos filamentosos alternando con sedimentos atrapaos ente ellos. Dalgunos d'estos estromatolitos tienen igualmente 3.500 Ma d'antigüedad (Fig. 4A), inda qu'hebo y sigue habiendo muncha controversia sobre si son d'orixe biolóxicu o non, y en casu de selo, sobre qué tipu de microorganismos los formaron. En concreto, albídase que con anterioridá a los 3.000 Ma los microorganismos fosilizaos debíen ser anoxixénicos, concretamente bacteries verdes y púrpures, más que Cianobacteries (Madigan *et al.* 1997). Sicasí, los estromatolitos posteriores a esa fecha, incluyendo los que siguen existiendo güei nunos pocos llugares del mundu (Fig. 4B) tán formaos sobre too, aunque non únicamente, por Cianobacteries. N'Asturies tamién tenemos exemplos d'estromatolitos fósiles, como los de la playa d'El Rinconín (Xixón) que s'amuesen na Fig. 5, aunque muncho más «mozos» que los de Warrawoona.



ARRIBA

Figura 3.A. Microfósiles procedentes de Marble Bar (Australia noroccidental) con una antigüedad de 3.500 millones d'años. Saca de <http://www.astrobiology.ucla.edu> B) Filamentos d'una cianobacteria actual (*Anabaena* sp.). Les fleches indiquen los heterocistos (het), célules estremaes encargaes de la fixación del nitróxenu. [<http://www.2011.igem.org/Team:Brown-Stanford/Powercell/Cyanobacteria>].

DERECHA

Figura 5. Estromatolitos fósiles de la formación Gijón (170 -100 Ma d'antigüedad) n'El Rinconín (Xixón). Semeya: J.L. Caso.

ABAXO

Figura 4.A. Seición tresversal al traviés del estromatolitu fósil más antiguu que se conoz (3.500 millones d'años) procedente del grupu Warrawoona (Australia noroccidental), allugamientu mui cercanu a Marble Bar. Hai qu'observar la estructura llaminar formada pola alternancia de capes de microorganismos con otreos de sedimentos. B) Estromatolitos actuales en Shark Bay (Australia Occidental), a escasos 800 km de Warrawoona. Semeyes tomaes de Madigan *et al.* (1997).



2ª PARTE: LOS HUMANOS NUN PODRÍAMOS EXISTIR ENSIN LES CIANOBACTERIES

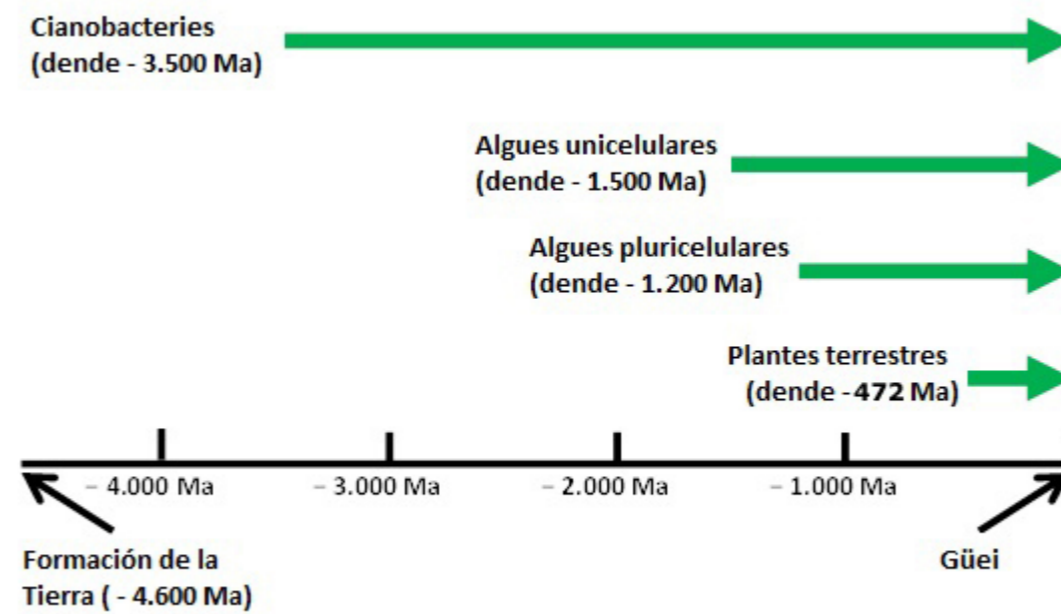
Arriendes de les peculiaridades qu'acabo de comentar, les Cianobacteries son tamién esceicionales pola sencilla razón de que-yos debemos la vida (lliteralmente), y non por un solu motivu, sinón por tres, toos ellos imprescindibles:

1) En primer llugar, estos microorganismos **son fotosintéticos y oxixénicos**, ello ye, absuerben el CO_2 de l'atmósfera y, utilizando como fonte d'enerxía la lluz solar, incorporen el carbonu al metabolismu propiu y espulsen a l'atmósfera un subproductu que ye l'oxixenu molecular (O_2 , gaseoso), que-yos resulta inútil pa ellos magar que toles plantes y por supuestu los animales necesitémoslo ineludiblemente p'alendar y vivir. L'atmósfera primixenio de la Tierra nun tenía oxixenu n'absoluto, asina que, magar que se suel comentar que la mayoría del oxixenu que respiramos vien de la fotosíntesis que faen les plantes verdes, lo cierto ye qu'estes nun apaecieron hasta hai unos pocos cientos de millones d'años, mentantu que les Cianobacteries lleven espulsando y acumulando O_2 na atmósfera dende hai como mínimo 3.500 millones d'años, munchísimo primero que les plantes, polo qu'hai que suponer que lo más del oxixenu qu'alendamos produxéronlo estos semidesconocíos microorganismos y non les relativamente nueves plantes fotosintétiques (ver esquema na Fig. 6).

Asina qu'equí va un mensaxe collateral a esti artículu, aunque con fundamentu científicu: magar que toos teamos en contra de la deforestación de les viesques tropicales o de les

quemeres forestales y a favor de la plantación d'árboles per uquier (sacante los ocalitos) porque desanicien CO_2 y xeneren oxixenu, nun nos escaecer de que, magar que les plantes, tanto les acuátiques (incluyío'l fitoplancton y les macroalgues marines) como les terrestres, xeneren oxixenu pel día, la inmensa mayoría del oxixenu que respiramos nun lo produxeron los árboles de les viesques tropicales y otre plantes (relativamente nueves), sinón que lo xeneraron a lo llargo de la so llarguísima existencia unos seres tan modestos, desconocíos y escaecíos como les Cianobacteries que son oxetu d'esti artículu.

2) En segundu llugar, **les Cianobacteries fixen nitróxenu** per mediu de célules especializaes llamaes **heterocistos** (ver Fig. 3B). El nitróxenu molecular (N_2 , gaseoso) ye l'elementu más abundante na nuesa atmósfera actual, onde constitúi aproximadamente un 79 % del total. Sicasí, nin les plantes nin los animales tenemos rutes metabóliques p'asimilar esi nitróxenu molecular. Pa poder usar el nitróxenu ye necesario que'l N_2 «se fixe», ye dicir, que se combine o bien con oxixenu pa dar los correspondientes óxidos nítrico y nítrico al igual que los sos respetivos ácidos y sales (nitritos y nitratos) que les plantes sí pueden aprovechar (aunque non los animales), o bien con hidróxenu pa dar amoniu (NH_4^+) y los



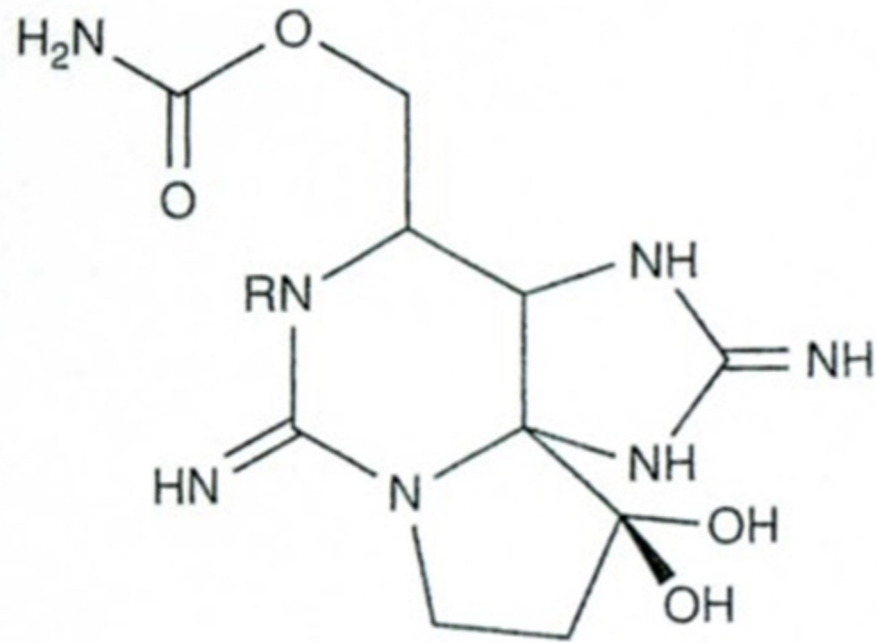
IZQUIERDA

Figura 6. Comparanza a escala de l'antigüedad d'estremaos grupos fotosintéticos xeneradores d'oxixenu. Ma= millones d'años.

sos derivaos, fundamentalmente aminoácidos, que son los únicos compuestos nitroxenao que sí podemos asimilar los animales. Como yá comenté, l'atmósfera primixenio de la Tierra nun tenía nada d'oxixenu, de mou que per munchos cientos de millones d'años les Cianobacteries únicamente podien combinar nitróxenu con hidróxenu pa producir l'amoniú y los aminoácidos que constitúin los «lladriyos» colos que tán construyíes les nuses proteínes, aunque pasu ente pasu entamaríen tamién a combinalo col oxixenu que diben xenerando elles mesmes. Asina que de nun ser por esti llabor de fixación del nitróxenu fecha poles Cianobacteries nun podríamos existir nin les plantes nin los animales, nin por supuestu los seres humanos.

3) Pa cabu, tolos autores tán güei d'alcerdu en que nel so día, hai unos 1.500 Ma, les Cianobacteries establecieron rellaciones de simbiosis mutualista con dalgunos Eucariotes primitivos, tresformándose ellos no qu'anguaño conocemos como **cloroplastos**, esenciales pa facer la fotosíntesis, y aniciando asina les primeres plantes verdes fotosintétiques (primero algues unicelulares, darréu pluricelulares y muncho más tarde les plantes terrestres, ver Fig. 6), ensin les que tampoco nun sedríen a existir nin los animales herbívoros nin los carnívoros.

Polo tanto, hai qu'insistir de nueves en qu'amás de ser unos seres esceicionales en dellos sentíos, ensin les Cianobacteries nun podríamos existir nin les plantes, nin los animales, nin n'últimu términu los seres humanos.

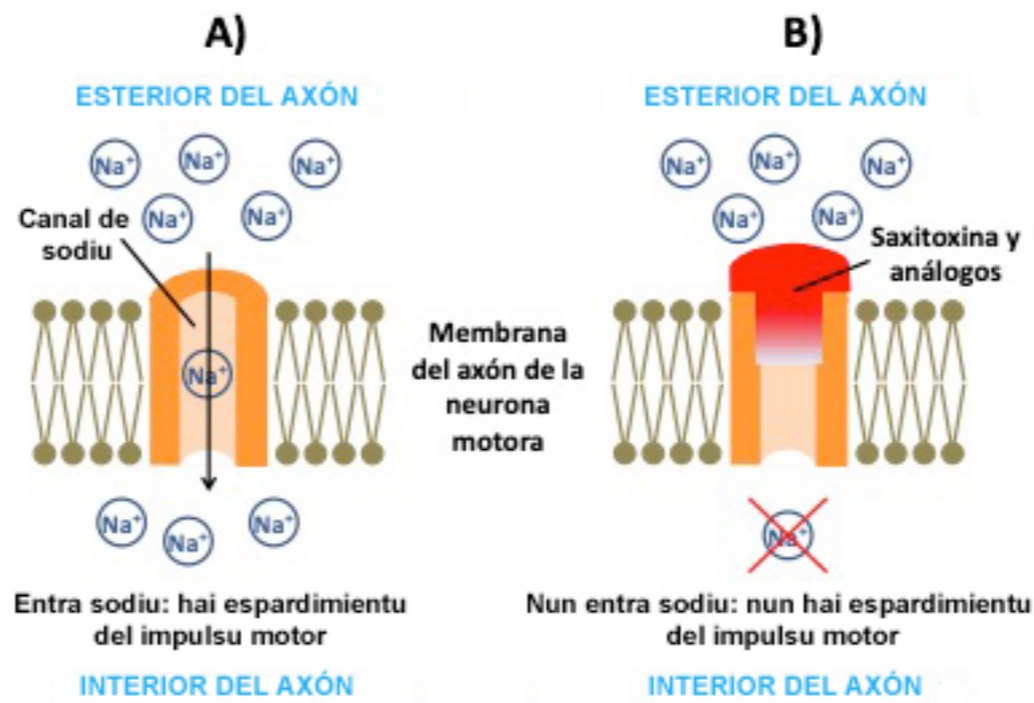


ARRIBA

Figura 7. Estructura química de la saxitoxina. Sacaio de Carmichael (1994).

ARRIBA DERECHA

Figura 8. Mecanismo d'aición de la saxitoxina y análogos. A) Situación normal: les canales de sodiu dexe pasar el Na⁺ escontra l'interior de la neurona y l'impulsu neuromotor propágase escontra'l músculu. B) Les toxines «taponen» la canal de sodiu, torgando'l pasu de Na⁺ escontra la neurona y desanicando asina l'impulsu neuromotor.



3ª PARTE: CIANOTOXINES, LA CRUZ DE LA MONEDA

El llector que llegare hasta equí y que nun tuviera una conocencia previa de les Cianobacteries camentará que tolo que faen estos microorganismos ye bono, ya inclusive imprescindible, pa la existencia de plantes, animales y humanos, lo que ye rigurosamente cierto.

Sicasí, les Cianobacteries tienen tamién un llau escuru y ye que munches d'elles (aunque non toes) producen toxines que pueden afeutar a la salud d'animales y humanos ya inclusive a vegaes resultar mortales. Estes sustancias concéncense coleutivamente como **cianotoxines** y pueden subdividise, pelo menos, en tres clases estremaes de productos (dalgunos autores consideren qu'hai más):

- A) CITOTOXINES Y ENDOTOXINES
- B) NEUROTOXINES
- C) HEPATOTOXINES

a) CITOTOXINES Y ENDOTOXINES

Son un grupu de compuestos variaos con una toxicidá que namái se comprobó *in vitro* sobre cultivos de texíos, pero nun consta que nunca produxeren daños reales nin n'animales nin n'humanos, polo que son d'escasu interés y nun se comentarán equí.

b) NEUROTOXINES

Les neurotoxines son productos sintetizaos per aciú d'estremaos xéneros de cianobacteries (*Anabaena*, *Nostoc*, *Oscillatoria* y muchos otros), qu'actúen sobre'l sistema nerviosu y más concretamente sobre les neurones motores o motoneuronas, que son les encargaes de tresmitir les órdenes de contraición/relaxación a los músculos. Al interferir cola función d'estes neurones, los músculos queden paralizaos, bien na so posición relaxada (parálisis fláccida, como nel

botulismu), o bien na so posición contraída (parálisis espástica, como nel tétanos). N'entrambos casos, l'aición d'estes neurotoxines pue provocar parálisis de distintos grupos musculares, como los que controlen la vista (produciendo fotofobia, visión doble, etc.), incapacidá pa ingerir alimentos y agua, inhibición del peristaltismu intestinal, parálisis d'estremidaes, abolición de los movimientos voluntarios, etc. En casos estremos, les neurotoxines pueden provocar la muerte, ya seya por asfixia pola mor de la parálisis de los músculos respiratorios o pola necrosis tisular y consiguiente cangrena pola mor de la constricción permanente ya irreversible de les arteries que se produz nos casos de parálisis espástica.

Dientro de les neurotoxines cianobacterianes estrémense al empar tres tipos en función del so mecanismu d'aición, que se repasen da rréu curtiamente.

1) Saxitoxina y análogos. Son un grupu d'alcaloides (véase la estructura de la saxitoxina na Fig. 7), qu'actúen torgando les canales de sodiu de les motoneuronas.

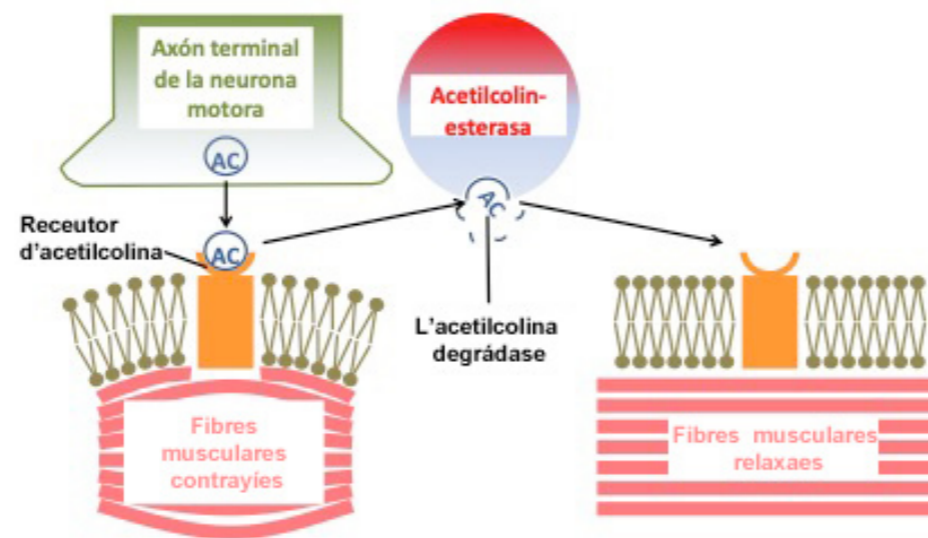
Pa que les motoneuronas tresmitan al músculu la orde de contraese fai falta qu'entren los iones sodiu (Na⁺) nos sos axones y eso asocede gracies a la existencia de canales de sodiu, que son una familia de distintes proteínes qu'atravesen de llau a llau la membrana del axón y dexen el fluxu de sodiu dende l'exterior escontra l'interior de la motoneurona. Pues bien, la saxitoxina y los sos análogos amiéstense a estes proteínes y taponen la canal como si se tratara del corchu d'una botella, torgando'l pasu de Na⁺ escontra l'interior de la neurona ya inhibiendo d'esti mou la tresmisión del impulsu neuromotor (Fig. 8). Asina, los músculos dexen de recibir la orde de contraese y permanecen paralizaos en posición relaxada (parálisis fláccida).

La saxitoxina y una familia de más de 50 análogos sintéticos les Cianobacteries pero también un grupo de verdaderas algues microscópicas pertenecientes a los Dinoflaxelaos; estos forman parte del fitoplancton marino y dan lugar a las llamaes «marees coloraes», que puen causar intoxicaciones pol consumu humanu de bivalvos, que los acumulen nel so cuerpu per filtración

Ye llamativu que la saxitoxina y una familia de más de 50 análogos sintéticos también un grupo de verdaderas algues microscópicas pertenecientes al grupo de los Dinoflaxelaos, que forman parte del fitoplancton marino y que dan lugar a las llamaes «marees coloraes», que puen causar intoxicaciones por consumu de moluscos bivalvos que s'alimenten por filtración y qu'acumulen nel so cuerpu estos Dinoflaxelaos. Toi refiriéndome a moluscos talos como los moxones, amasueles, muergos, ostres, berberchos, etc, qu'al consumilos lleguen a producir intoxicaciones mortales en seres humanos. Sicasí, hai qu'insistir en que les Cianobacteries son Procariotes y los Dinoflaxelaos son verdaderos Eucariotes, polo que nun hai nenguna relación filoxenética ente estos dos grupos, de forma que la producción de saxitoxina y análogos per parte d'entrambos grupos de microorganismos ye namás un casu llamaderu de converxencia evolutiva con un significáu real que tamos lloñe de ser quien a explicar.

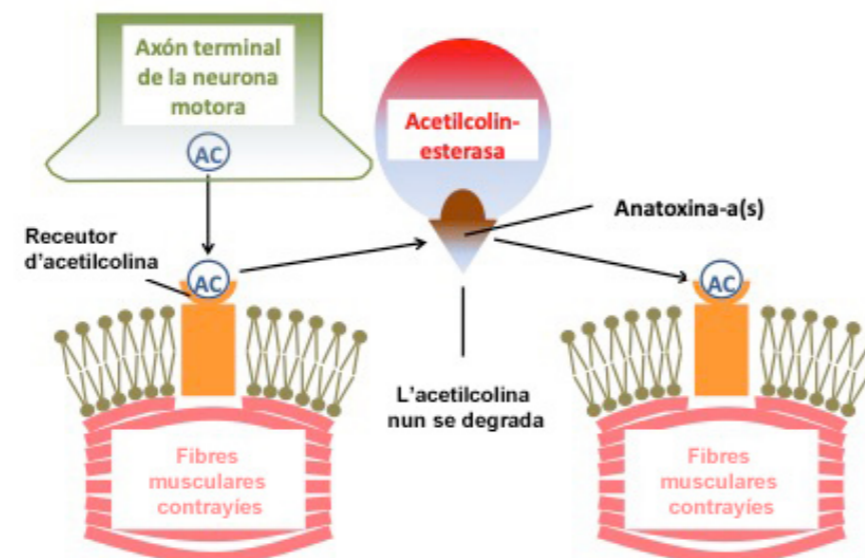
2) Anatoxina-a y análogos. Trátense de moléculas que mimeticen a l'acetilcolina, que ye'l mensaxeru químicu normal que tresmite l'impulsu motor dende la motoneurona al músculu. Cuando l'acetilcolina (AC) s'amiesta a los sos correspondientes receptores asitiaos na membrana de les células musculares, el músculu contraise, pero darréu actúa una acetilcolin-esterasa que degrada l'AC, de forma que'l músculu vuelve a la so posición relaxada (Fig. 9).

Pues bien, l'anatoxina-a y los sos análogos



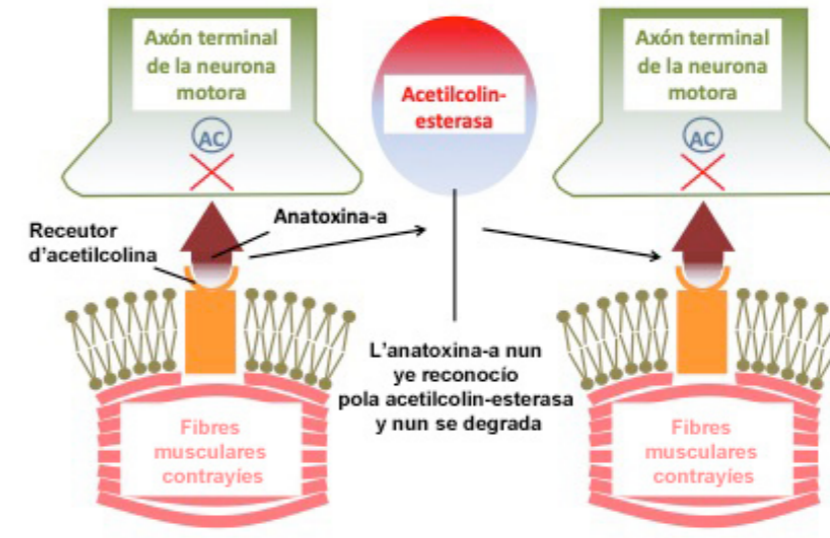
ARRIBA

Figura 9. Ciclu normal de contracción/relaxación de los músculos. Les neuronas motores secreten acetilcolina (AC), que ye captao polos correspondientes receptores na membrana de les células musculares y eso desencadena la contracción muscular. Darréu, l'ac ye degradao pola acetilcolin-esterasa y el músculu vuelve a la posición relaxada.



IZQUIERDA

Figura 11. Mou d'aición de l'anatoxina-a(s). La toxina amiéstase al centru activu de l'acetilcolin-esterasa, torgando que l'ac pueda ser degradada, polo que'l músculu permanez permanentemente contrayíu, causando una parálisis espástica.



ARRIBA

Figura 10. L'anatoxina-a amiéstase a los mesmos receptores que l'acetilcolina y desencadena la contracción muscular, pero a diferencia de l'ac nun los degrada l'acetilcolin-esterasa, polo que'l músculu permanez constantemente contrayíu, dando llugar a una parálisis espástica.

amiéstense al mesmu receptor que l'ac y disparen igualmente la contracción muscular, pero a diferencia de l'ac, nun los degrada l'acetilcolin-esterasa, polo que'l músculu sigue recibiendo de mou permanente la orde de contraese, orixinándose asina una parálisis espástica asemeyada a la del tétanos (Fig. 10).

Esto pue causar efeutos sumamente graves, darréu que la contracción permanente de los músculos provoca la oclusión de les arteries qu'irriguen les estremidaes y otros muérganos, dando llugar a la muerte celular, necrosis, cangrena, y eventualmente, a la muerte del individu.

3) Anatoxina-a(s). Nesti casu, el sufixu (s) vien del inglés *salivary*, ya qu'esti productu provoca una hipersalivación en mamíferos. Esta toxina amiéstase al centru activu de l'acetilcolin-esterasa, torgando qu'esta pueda degradar a l'acetilcolina, polo que'l músculu permanecerá permanentemente contrayíu. L'efectu será'l mesmu que'l de l'anatoxina-a (parálisis espástica), magar que'l mecanismu d'aición seya otru (Fig. 11).

C) HEPATOTOXINES

Trátense de sustancias captaes específicamente pol sistema de tresporte de los sales biliares, que namái existe nos hepatocitos (célules que forman el parénquima hepático), polo qu'estos compuestos exercen la so aición tóxica únicamente nel fégadu.

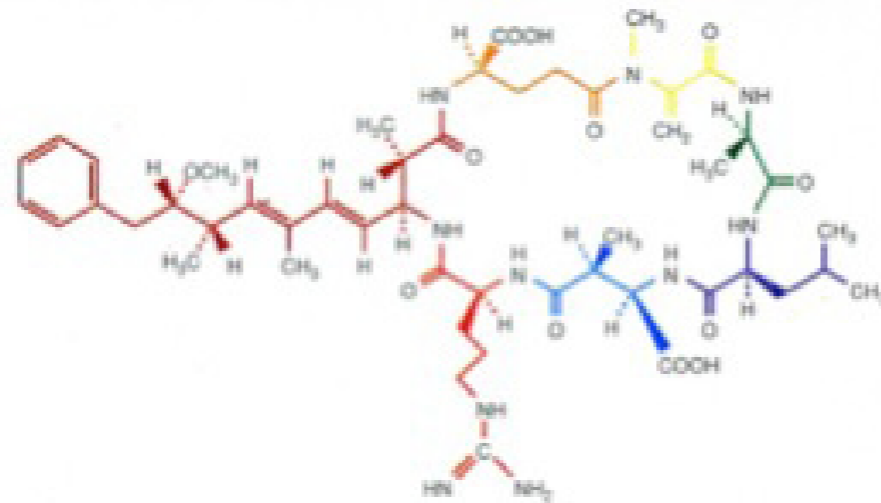
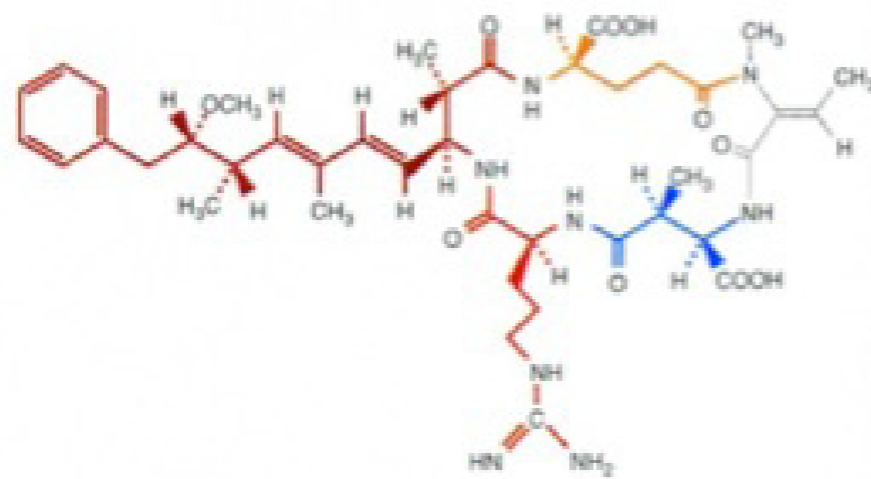
Dende'l puntu de vista de la estructura química, les hepatotoxines producies por Ciano-

bacteries son péptidos cíclicos que se subdividen en dos tipos: les **nodularines** (sintetizaes principalmente pol xéneru *Nodularia*), que tãan integraes por 5 aminoácidos, y les **microcistines** (del xéneru *Microcystis*), formaes por 7 aminoácidos, (ver Figures 12 y 13).

Les nodularines y microcistines sumen un grupu de más de 50 productos tóxicos con un mesmu mecanismu d'aición que se resume darréu:

Los hepatocitos tienen una forma poliédrica, polo que vistos nun corte al microscopiu obsérvense con una forma más o menos hexagonal. En condiciones normales, el grandor d'estes células caltiénse constante porque hai un equilibriu ente dos tipos d'enzimes que son les proteín-quinases y les proteín-fosfatases: les primeras faen que los microfilamentos d'actina s'acurtien y les células mengüen de tamañu, mentanto que les segundes allarguen los filamentos d'actina y faen que les células aumenten de grandor

Pues bien, les nodularines y microcistines exercen la so aición tóxica porque inhiben a les proteín-fosfatases, haciendo que les microfibras d'actina s'acurtien y los hepatocitos mengüen de grandor (Fig. 14). Hai que se decatar que'l fégadu ye un muérganu altamente vascularizáu, atravesáu por enormes cantidaes de capilares sanguíneos con unes paredes que son monocapas de células endoteliales que se caltienen íntegres y en posición gracias a la presión qu'exercen sobre ellos los hepatocitos nes tres direiciones del espaciu. Énte una intoxicación aguda por nodularines o microcistines, y darréu

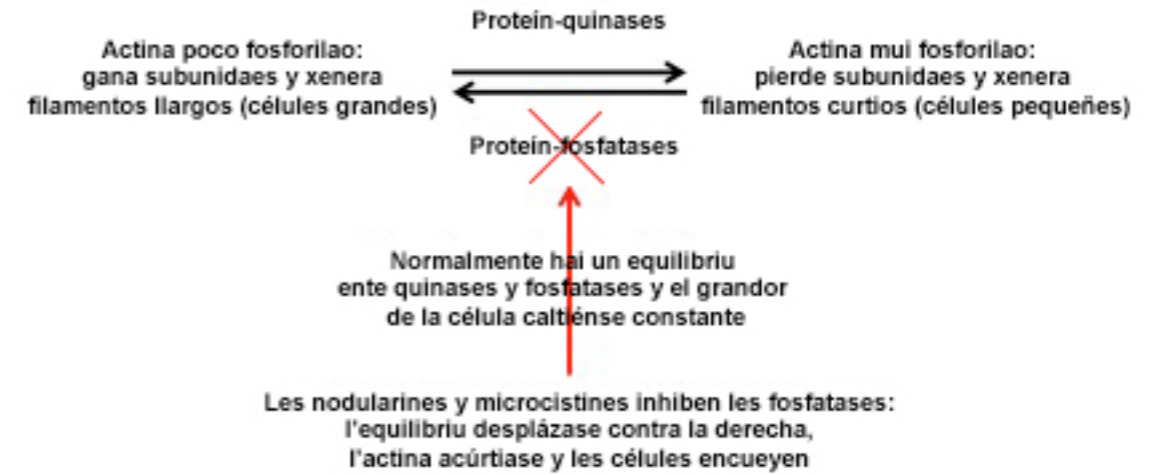


ARRIBA

Figura 12. Estructura química de les nodularines, péptidos cíclicos de 5 aminoácidos. Cada aminoácidu representase pente medies d'un color estremáu. Tomao de Carmichael (1994).

ABAXO

Figura 13. Estructura química de les microcistines, péptidos cíclicos de 7 aminoácidos. Cada aminoácidu representase pente medies d'un color estremáu. Tomao de Carmichael (1994).

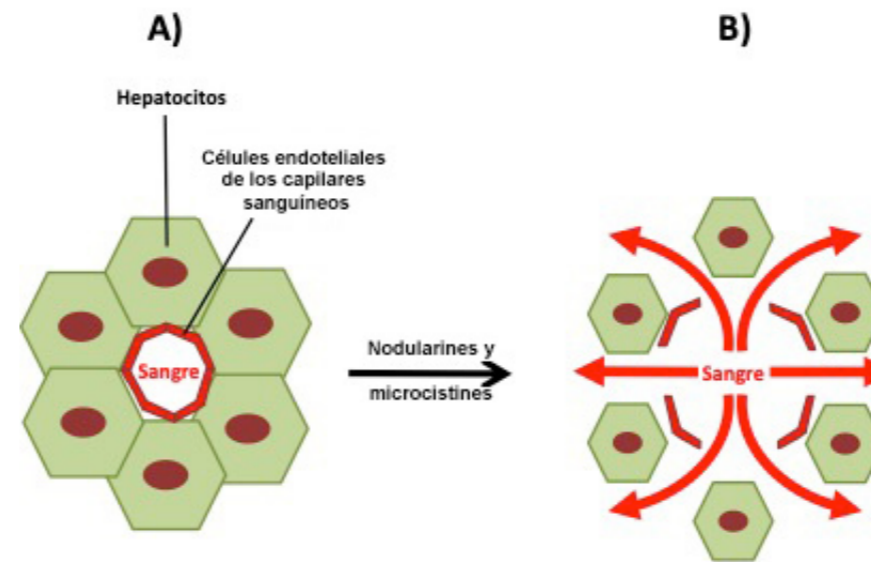


ARRIBA

Figura 14. Mecanismu d'aición de les nodularines y microcistines. Entrambos grupos inhiben les proteín-fosfatases nos hepatocitos, colo que se desplaza l'equilibriu natural ente quinases y fosfatases escontra la derecha, l'actina acúrtese y les células encueyen.

ABAXO

Figura 15. Esquema d'aición de les nodularines y microcistines nel parénquima hepático (ver testu pa esplicación). A) Situación normal. B) Situación d'intoxicación aguda.



que'l grandor de los hepatocitos mengua, la presión exerció por estes células sobre los capilares sanguíneos tamién disminúi o desaparece dafechu, y por tanto la pared de los capilares desintégrese (lliteralmente), lo que da llugar a hemorraxes intrahepáticas masives y a necrosis del texíu hepático que pueden resultar mortales (esquema na Fig. 15).

Pero amás, les nodularines y microcistines nun tienen namái un efeutu agudu a curtiu plazu, sinón que cuando s'inxeren en dosis sub-tóxicas tienen un efeutu acumulativu y resulten dañibles a llargu plazu, yá que provoquen alteraciones menos llamaderes pero igualmente letales: n'efeutu, sábese d'hai tiempu que l'equilibriu ente quinases y fosfatases non solo regula'l grandor de les células, sinón qu'amás ye vital pa regular la proliferación celular. Cuando entrambos tipos d'enzimes tãan n'equilibriu'l númeru de células permanez constante, pero si les fosfatases tãan inhibíes, que ye lo qu'asocede

en presencia de les hepatotoxines, la proliferación celular dispárase de forma incontrolada, lo que lleva a l'apaición de tumores malignos (hepatocarcinoma o cáncer de fégadu, potencialmente mortal).

Como acabamos de ver, les toxines de Cianobacteries (tanto neuro como hepato-toxines) son perpeligroses y delles vegaes mortales, tanto a dosis altes y n'intoxicaciones agudes como inclusive a dosis baxes y a llargu plazu.

4ª PARTE: CIANOBACTERIES NES PRESES O BANZAOS ESPAÑOLES Y ASTURIANOS

La presencia de Cianobacteries n'hábitats talos como suelos, agua marino o fontes termales nun presenta especiales problemes, y de fechu ye beneficiosa, como s'esplicó na 1ª y 2ª partes. Ye más inquietante la so proliferación n'agua de lo que beben animales, como llagos y llagunes, champanes, fontanes, etc., yá que pue causar intoxicaciones agudes mortales nos animales que beban esta agua, lo que se documentó n'abondes ocasiones, tanto n'animales monte-ses como en ganáu y animales de casa.

Pero lo qu'esmolez sobre manera ye la so acumulación n'embalses destinaos a la obtención d'agua pa consumu humanu, yá que les toxines acumulaes nesta agua nun s'eliminen per aciu de nengún de los tratamientos potabilizadores n'usu güei nos países desendolcaos (cloración, ozonización, floculación, decantación, etc.), de forma que les toxines, magar que seya en baxes dosis, podríen tar llegando al agua que sal pelos caños de les nuses cases.

Nesti sen, hai que señalar qu'hai datos qu'indiquen que'l 51,5% de los embalses españoles tienen presencia de Cianobacteries abundantes o dominantes, el 37,4 % tienen presencia escasa y namás un 11,1 % tán llibres

de Cianobacteries (de Hoyos Alonso, ensin fecha). En cuantes a Asturias, rexistráronse acumulaciones de Cianobacteries tanto nel banzáu de Los Alfilorios, qu'abastez a la ciudá d'Uviéu (diariu *La Nueva España*, 2 de marzu de 1998 y feches siguientes) como nos de Tañes y Rusecu, qu'abastecen a CADASA y por tanto a tola zona central d'Asturies (*La Nueva España*, 24 y 26 d'agostu de 2001).

Quiciabes non por casualidá, un estudiu fechu por especialistas n'aparatu dixestivu del HUCA, Hospital Universitariu Central d'Asturies (Uviéu), del San Agustín (Avilés), del de Cabueñes (Xixón) y del Valle del Nalón (Llangréu), indica que la incidencia de cáncer de fégadu na fastera central d'Asturies ye más alta que n'otras zones d'España (*La Nueva España*, 30 de marzu de 1998). ¿Ye posible qu'heba una rellación causa/efeutu ente la presencia de Cianobacteries nos nuestos banzaos y esta alta incidencia d'hepatocarcinomes, o hai daqué otra causa (xenética o d'otra mena) per agora desconocida, o bien esti fechu ye una mera casualidá? Como dicía'l vieyu cantar de Bob Dylan: *The answer, my friend, is blowing in the wind* (la respuesta, mio amigu, ta flotando nel aire).

5ª PARTE: MIDÍES DE PREVENCIÓN Y CONTROL

Énte la evidente peligrosidá de les cianotoxines que s'espunxo hasta equí, ye obvio qu'habríen tomase midíes de prevención empobinaes a desanicar la presencia de les Cianobacteries y les sos toxines nel agua destinao a consumu humanu (embalses), y en menor midida, no destinao a consumu pol ganáu.

Nesti sen, hai qu'indicar que'l *Real Decretu 140 de 2003*, anguaño en vigor, establez que l'agua potable nun ha contener más de 1 µg

Especialistes n'aparatu dixestivu del HUCA, el San Agustín, Cabueñes y Valle'l Nalón dicíen en 1998 qu'había más incidencia de cáncer de fégadu na fastera central d'Asturies que n'otres d'España. ¿Tien rellación coles Cianobacteries de los banzaos que suministren l'agua de consumu? ¿hai dalguna otra causa?

(microgramu) de microcistines por llitru d'agua, anque nun menciona n'absoluto nin les otres hepatotoxines (les nodularines) nin tampoco les neurotoxines paralizantes. Sicasí, ye de destacar tamién qu'España ye ún de los pocos países, quiciabes l'únicu, qu'estableció hasta agora dalguna norma reguladora al rodiu d'estes sustancias peligrosísimes.

Per otru llau, propunxéronse delles estra-texes pal desaniacu de les acumulaciones de Cianobacteries nos banzaos, que van del desaniacu físicu de les mases d'estos microorganismos por arrastre con redes hasta l'aplicación d'axentes biolóxicos antagonistes d'estos (virus, bacteries,

protozoos, etc.), pasando per métodos químicos como l'aplicación d'algucides o herbicides, oxidantes y otres sustancias como cobre (Cu₂), manganatu potásico (K₂MnO₄) agua oxigenao (H₂O₂), etc. (Cobo 2015). Sicasí, toos estos métodos tán en fase esperimental y nun s'atopó tovía un métodu o métodos definitivos que puedan iguar esti problema, qu'ensin dulda medrará nos años vinientes o décadas pola mor del progresivu aumentu na temperatura de les agües continentales pola mor del calecimientu global.



Referencies bibliográfiques

- CARMICHAEL, Wayne W. (1994).- Toxinas de Cianobacterias. *Investigación y Ciencia*, 210: 22-29.
- COBO, Fernando. (2015).- Métodos de control de las floraciones de cianobacterias en aguas continentales. *Limnetica*, 34 (1): 247-268.
- DE HOYOS ALONSO, Caridad, (s/f).- *Cianobacterias en los embalses españoles*. www.elaguapotable.com.
- GARRITY, GEORGE M. (editor-in-chief) (1984).- *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. 2nd Edition, Vol. One. Springer, New York.
- MADIGAN, MICHAEL T., JOHN M. MARTINKO AND JACK PARKER (1997).- *Brock Biology of Microorganisms*, 8 Edition. Prentice Hall International, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- PÄÄBO, Svante (2015).- *El hombre de Neandertal-En busca de genomas perdidos*. Alianza Editorial, Madrid.