

*PAPÉL DE LOS  
MICROORGANISMOS  
EN LA EVOLUCIÓN  
¿HÉROES O  
VILLANOS?*



ELENA MORENO DEL OLMO

## Introducción.

A pesar de la concepción implantada en la sociedad actual sobre los virus y bacterias como organismos peligrosos ante los que tenemos que luchar (véase por ejemplo la definición de Virus de Monsanto) [1], el estudio cada vez más avanzado de los microorganismos debe llevarnos inevitablemente a considerarlos parte importante no sólo del mundo actual, si no, y aún más importante, parte fundamental de la Tierra durante toda su existencia.

Los “relojes radiactivos” establecen la formación de la Tierra hace unos 4560 millones de años y se ha establecido que ocurrió mediante un proceso de acreción (acumulación de meteoritos que impactaban con ella) y que terminó su formación hace entre 4440 y 4410 millones de años, cuando comenzó a retener la atmósfera [2].

Esta atmósfera inicial surgió de los gases que se producían y salían del interior de la Tierra, a una gran temperatura. Sobre todo  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$  y  $\text{H}_2$ . La desgasificación de estos gases junto con el lento descenso de la temperatura, liberaron el agua, que cubrió la Tierra. Hasta hace 3800 millones de años siguió habiendo un bombardeo de meteoritos (Figura 1), lo que lleva a determinar que hasta hace 4000 m. a. la vida era imposible.

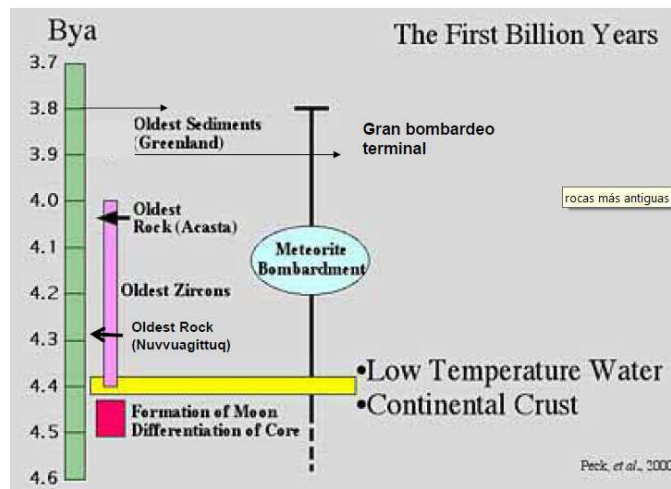


Figura 1: escala de la época de formación de la Tierra con los diversos acontecimientos geológicos [3].

Y como no podía ser de otra manera, los primeros datos de organismos vivos en el registro biológico son la presencia de los llamados **Estromatolitos**, hace 3500 m.a., que son los desechos de colonias de cianobacterias, que viven en aguas de poca profundidad, que se van acumulando formando múltiples capas, que forman algo parecido a una roca. Hoy todavía, podemos encontrar equivalentes vivos en Florida y Australia, con los que se han podido estudiar y se sabe que tienen ciertas ventajas, como



Figura 2: Estromatolitos de Warrawoona 3500 Ma [3].

la optimización de los ciclos biogeoquímicos, el intercambio horizontal de información, la protección frente a la radiación UV, la protección frente a factores de stress y la fijación de nitrógeno molecular.

Pero, la pregunta es ¿cómo se formaron estos primeros organismos? Por supuesto, esta es una pregunta compleja que aún se debate en la actualidad. Existen varias teorías al respecto:

La primera y más aceptada “oficialmente” es la *Teoría Quimiosintética* [4], demostrada con el experimento de Miller que simula en el laboratorio las supuestas condiciones de la Tierra hace más de 4000 m.a. Esta teoría dice que los gases presentes en la atmósfera primitiva, con ayuda de la energía procedente de los rayos y la radiación UV reaccionaron al azar, formando en el fondo de los océanos, moléculas más complejas que finalmente darían lugar a moléculas hoy esenciales para la vida como son los amino ácidos, las proteínas, los ácidos nucleicos, glúcidos, etc (Figura 2).

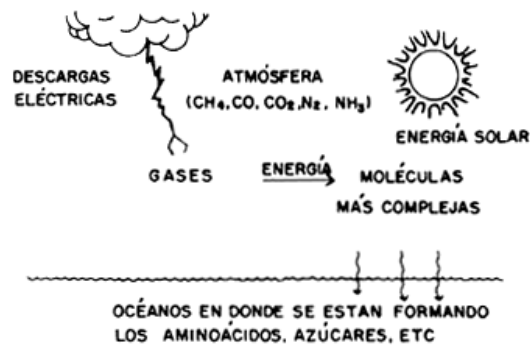


Figura 2: Esquema de la Teoría Quimio-sintética

Después habría una aparición de moléculas de forma aleatoria y sin ningún control o dirección definidos, que concluirían con la homogeneización de las propiedades estereoquímicas de los polímeros estableciendo el futuro lenguaje de la materia viva. En este punto empezaría a actuar otras leyes: las de la EVOLUCIÓN PREBIÓTICA.

La Evolución Prebiótica o Pre-celular, recoge todas las etapas y procesos hasta la aparición de las células, organismos autosuficientes que marcan el inicio del mundo tal y como lo conocemos hoy en día.

En esta fase tienen que darse dos fenómenos diferentes y complementarios: la aparición de una delimitación física, membrana o similar, y la aparición de significaciones biológicas complejas -como el control de la reproducción, actividades internas relacionadas con procesos energéticos y fundamentalmente la transmisión de la información- asociadas a los polímeros de aminoácidos y nucleótidos existentes. Y todo ello se produce supuestamente al azar.

Otra opción es la *Teoría de las fuentes geotermales submarinas* que parte de la base de que una amplia variedad de las primeras Bacterias y Archaeas eran termófilas, por lo que pudieron formarse mediante los desequilibrios térmicos y las fuentes de energía procedentes de las fuentes geotermales submarinas ya que estaban protegidos de la radiación UV o los grandes impactos. Su argumento se basa en que tenían minerales que podrían catalizar reacciones prebióticas y existen proteínas resistentes a altas temperaturas.

Una teoría alternativa, que cada vez se va escuchando más, es la *Teoría de la Panspermia* [4] que postula que los primeros precursores orgánicos o incluso los primeros organismos sencillos pudieron llegar a nuestro planeta en algunos de los múltiples meteoritos caídos en la época de formación de la Tierra y que proliferarían cuando las condiciones de la Tierra fueran adecuadas. Esta teoría ha cobrado importancia en los últimos años por dos motivos: el descubrimiento por parte de los astrónomos Fred Hoyle y Chandra Wickramasinghe de moléculas orgánicas en el espacio interestelar, de manera que los compuestos básicos para la vida podrían encontrarse más allá de nuestro planeta, y el anuncio por parte de NASA en 1996 de evidencias de vida en los restos de un meteorito marciano: el ALH84001 que contenía glóbulos de carbonato con minerales cristalizados de tipo magnetita, pyrrhorita y greigita, que en principio se consideraban exclusivamente de origen biogénico, e incluso una posible presencia de estructuras que recuerdan a bacterias fosilizadas.

### Actividad de los microorganismos en el planeta Tierra.

Surgieran como surgieran, los microorganismos tienen una actividad fundamental en nuestro planeta, y por ello fueron los únicos habitantes de nuestro planeta durante la mayor parte de la historia de la vida en la Tierra y continúan siendo no sólo uno de los mayores reinos representados en nuestro planeta en número, sino también en biomasa y diversidad. Durante el periodo en que fueron los únicos habitantes, diversificaron todas las estrategias energéticas, establecieron todo un entramado de interacciones y colonizaron todo tipo de ambientes (Figura 3).

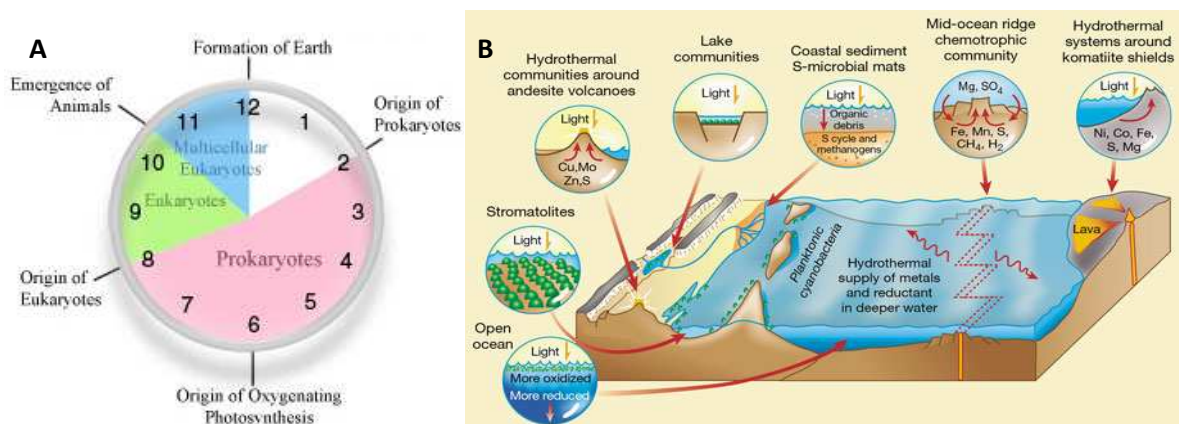


Figura 3: **A:** Esquema de la participación de los Procariotas desde la formación de la Tierra. **B:** Representación de la enorme cantidad de ambientes que pueden colonizar los microorganismos [3].

Los procariotas (bacterias y arqueas) inventaron todas las estrategias metabólicas que hoy conocemos. Como ejemplo representativo, la producción de oxígeno supuso un proceso metabólico que originó la vida aeróbica; y otro proceso más estratégico, la endosimbiosis, originó la célula eucariota. Y los dos han permitido que la vida adopte formas y dimensiones muy variadas, desde los microorganismos y plantas microscópicas hasta las secuoyas, los grandes dinosaurios, las ballenas o los seres humanos. No hay que olvidar que las plantas y animales surgieron de un mundo microbiano y por ello, mantienen un estrecho vínculo de dependencia con los microorganismos.

La vida no sólo comenzó con los microorganismos procariotas, sino que la continuidad de la existencia de la vida sobre la Tierra recae claramente sobre ellos. La presencia de los microorganismos en tan diversos ambientes, se basa en cinco características principales [5]:

- (i) su tamaño pequeño, que les permite una gran capacidad de dispersión;
- (ii) su variabilidad que les permite ocupar nichos ecológicos muy diversos, soportando temperaturas extremas, radiación, etc
- (iii) su flexibilidad metabólica, que les permite tolerar y adaptarse rápidamente a condiciones ambientales desfavorables, obtener energía de diversos lugares como las rocas o el sol produciendo o no oxígeno, etc
- (iv) su plasticidad genética (o gran capacidad de transferencia horizontal de genes, sobre todo en las formaciones de biofilm), que les permite recombinar y recolectar los caracteres favorables; y
- (v) su capacidad de letargo (con formas no activas), que les permite persistir durante largo tiempo adaptándose a condiciones ambientales cambiantes.

Y ¿Qué han conseguido con estas características?

- Desarrollar los ecosistemas mediante:
  - ✓ La aparición y aceleración de los ciclos biogeoquímicos reciclando así los elementos esenciales para la vida (Carbono, Nitrógeno, Fósforo...), manteniendo el flujo de energía a través de los distintos eslabones de las cadenas tróficas.
  - ✓ La generación de Materia Orgánica a partir de Materia Inorgánica. Esta Materia Orgánica sirve de alimento a organismos superiores.
  - ✓ La aparición de redes tróficas. Son capaces de utilizar como nutrientes compuestos imposibles para otros organismos, por lo que constituyen la base de la cadena alimentaria.
  - ✓ Fijación de compuestos importantes para plantas, mediante relaciones de simbiosis.

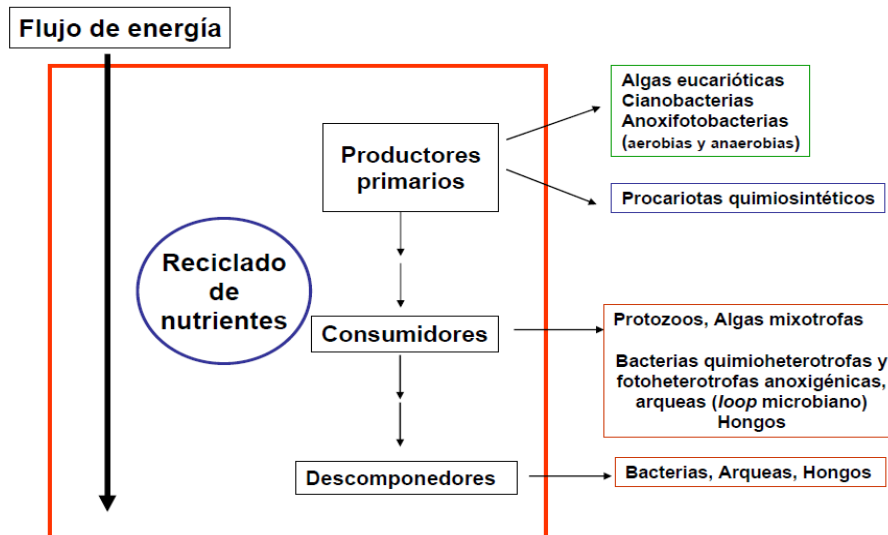


Figura 4: Papel de los microorganismos en el funcionamiento de los ecosistemas [3]

- Modificar la atmósfera mediante:
  - ✓ Consumo de CO<sub>2</sub> que mediante la enzima Rubisco transforman en nuevo alimento para la planta, secuestro de carbono (M.O., precipitación de carbonatos...), etc.
  - ✓ Formación de O<sub>2</sub>(oxigenación del medio acuático y posteriormente de la atmósfera)
  - ✓ Formación de la capa de ozono y reciclado de los gases de la misma.
  - ✓ Escape de N<sub>2</sub> a la atmósfera
- Beneficios obtenidos de su capacidad de fijación de Nitrógeno atmosférico. Por ejemplo, las bacterias fijadoras de Nitrógeno que utiliza la Nitrogenasa para formar los aminoácidos.
- Formar el suelo tal como lo conocemos, interaccionando con las plantas permitiendo así su crecimiento.
- Los procariotas (bacterias y arqueas) inventaron todas las estrategias metabólicas que conocemos, respiración, fotosíntesis, aerobias, anaerobias, etc.

Como es bastante conocido, ya que ciertos medios se encargan cada vez más de “informar”, existe una actividad patógena de los microorganismos que pueden afectar a otros seres vivos, pero esta se produce por el estrés al que son sometidos los microorganismos cuando se produce un cambio en su ambiente (generalmente producido por la actividad del ser humano), y representa una actividad menor comparada con las citadas anteriormente. A pesar



de esto, cada vez están siendo más atacados para “combatirlos” provocando no otra cosa que su aún mayor patogenicidad, entrando en un círculo vicioso del cual no somos capaces de imaginar cuales podrían llegar a ser las consecuencias...

### **Papel de los microorganismos en la evolución de los organismos eucariotas.**

Teorías complementarias a la Selección Natural establecen a virus y bacterias como posible parte implicada en la evolución de las formas actuales de los phyla de organismos, explicando los grandes saltos evolutivos producidos a lo largo del tiempo que son difícilmente explicables por la Teoría tradicional. Seguramente existan otros muchos mecanismos, pero si tuviéramos todos en cuenta, este tema podría extenderse demasiado, por tanto, explicaré dos ejemplos concretos bastante curiosos que arrojan luz a los vacíos dejados en la Teoría de la Evolución aceptada oficialmente.

#### **Retrovirus endógenos**

El 10% del genoma humano está compuesto de Retrovirus Endógenos Humanos (HERVs) que tienen una estructura similar a la de los retrovirus exógenos, lo que hace pensar que estos durante la evolución tuvieron que insertarse en las células de la línea germinal haciéndose endógenos. Los HERVs son secuencias complejas que se integran en el genoma de otros organismos, con capacidad de regulación y procesamiento espacio-temporal, con lo que sus productos estructurales pueden tener funciones diferentes.

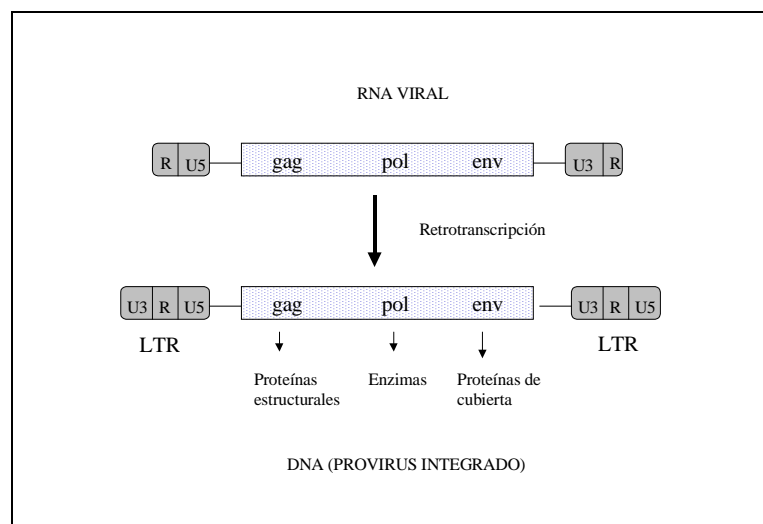


Figura 5: esquema del genoma de un retrovirus libre y de un retrovirus insertado en el genoma de otro individuo en forma de provirus [6].

Estos han dado lugar a los elementos móviles del genoma llamados transposones, descubiertos por Bárbara McClintock en 1956. Se sabe que estos pueden saltar de un lado a otro del genoma produciendo diversas reordenaciones cromosómicas que pueden dar lugar a cambios muy diversos [6]. Estos constituyen casi

un 50% del genoma que se ha denominado ADN “basura” a pesar de que pueden producir una gran diversidad de cambios que veremos a continuación.

Sus secuencias reguladoras (las LTRs) pueden afectar a la regulación de genes cercanos, dotándoles de **características funcionales específicas** y durante el proceso de retrotranscripción se pueden generar **nuevas especificidades y funciones**, así como transducir otros genes, ubicándolos en **nuevos entornos genómicos** con (o sin) nuevas funciones. Además, actualmente se sabe que participan en procesos celulares y de desarrollo básicos, incluso en algo tan complejo e importante evolutivamente como la placentación, algo para lo cual hasta ahora no había mucha explicación. La complejidad del proceso de placentación, la sincronización de la acción de múltiples genes para su funcionamiento, el control de su papel invasivo a la vez que se inhibe el sistema inmune materno, y demás procesos bastante complejos, hace pensar que difícilmente hayan podido surgir por mutaciones y divergencia de genes de modo gradual [7].

Además, se cree que pudieron participar en el proceso de formación de la célula eucarionte, ya que la maquinaria de replicación parece haber derivado de la de virus y bacterias. Se ha comprobado la similaridad de las ADN polimerasas participantes en la replicación y se han encontrado en una familia de virus, 7 de los 63 genes fundamentales más conservados en todos los organismos celulares. Concretamente parece que existe una gran similaridad con el ciclo de replicación de Archaeas. [8].

Además de la participación en la mencionada formación de la placenta, se han descubierto secuencias retrovirales en muchos tejidos del cuerpo humano y concretamente se han encontrado en fases de la embriogénesis, lo que lleva a pensar que puedan tener un papel fundamental en el desarrollo y diferenciación de tejidos humanos [9].

Hay muchas familias de HERVs y cada una específica de cada organismo debido a su modo de transmisión horizontal a un organismo que no forma parte de su descendencia, lo cual se ha demostrado que ha resultado un mecanismo muy importante para la transmisión de información durante la evolución [10]. Esto permite generar un cambio genómico importante en un número significativo de la población, lo cual podría explicar los cambios bruscos producidos en el registro fósil que generan tantos problemas a la Teoría Sintética.

### **Wolbachia**

*Wolbachia* (Figura 5) es una bacteria que infecta órganos reproductores afectando a la reproducción de una gran proporción de insectos (70%), y también isópodos, arañas, nematodos, ácaros o crustáceos (cochinillas, gambas de agua dulce). Se define como especie (dentro de lo complejo de la definición) a un grupo de organismos capaces de aparear y reproducirse juntos, según esto,



Figura 5: Wolbachia [11]



como los organismos infectados por distintas cepas de *Wolbachia* no pueden aparear, esta constituiría un auténtico mecanismo de especiación. Se conoce como esta bacteria “infecta” a los insectos y cómo ha desarrollado la capacidad de invadir las células sexuales de sus hospedadores y transmitirse por el óvulo de las hembras la siguiente generación, favoreciendo su dominancia en la población.

Puede producir cuatro fenotipos diferentes:

1. **Muerte** en los machos infectados, con lo que las poblaciones poco a poco van quedando constituidas exclusivamente por hembras infectadas, así elimina el sexo y hembras pueden reproducirse mediante partenogénesis
2. **Feminización.** Las hembras portadoras de *Wolbachia* producen una descendencia mayoritariamente compuesta por hembras. Además, la descendencia de los machos se convertirá en hembras con un doble potencial de transmisión de *Wolbachia* a la siguiente generación [12]
3. **Partenogénesis.** Las hembras infectadas son capaces de reproducirse asexualmente a partir de óvulos no fecundados, produciendo hijas como descendencia.
4. **Incompatibilidad citoplasmática**, el fracaso en la producción de descendencia a causa de factores citoplasmáticos. Puede producirse de dos maneras [13]:
  - Incompatibilidad unidireccional: el cruce entre un macho infectado con *Wolbachia* y una hembra no infectada no produce una progenie, mientras que el cruce de un macho no infectado con una hembra infectada produce una progenie normal, actuando como una barrera reproductiva pre-zigótica.
  - Incompatibilidad bidireccional: el cruce entre dos individuos infectados con diferentes cepas de *Wolbachia* no produce ninguna descendencia, actuando como una barrera reproductiva post-zigótica

Estos dos últimos constituyen el mecanismo de especiación antes citado.

Varios tipos de evidencias indican que las transferencias de genes desde *Wolbachia* hacia invertebrados se producen, o se han producido, con mucha frecuencia:

- El descubrimiento de ADN de *Wolbachia* en tantos organismos seleccionados al azar.
- La correspondencia entre las pruebas de laboratorio y los análisis informáticos.
- La infección de alrededor del 70 por ciento de los invertebrados terrestres del

mundo por *Wolbachia*, lo que significa que ésta ha tenido un número casi ilimitado de oportunidades para transferir sus genes a organismos receptores.

Además, se dice que uno de los particulares papeles de *Wolbachia* podría consistir en reducir el flujo genético entre poblaciones geográficamente y genéticamente divergentes actuando como refuerzo de los mecanismos de especiación [13]. Al estudiar esta bacteria, se relacionó con el género *Rickettsia* (emparentado con mitocondrias). Esto y su forma de actuar, integrándose por completo en el genoma, ha llevado a teorías que afirman que podría llegar a ser una “futura mitocondria” si se integrase completamente y adquiriera una nueva función.

## **Conclusiones**

Todos los seres vivos de la Tierra dependen de la vida procariótica, los microorganismos no sólo están presentes en el ambiente, sino que están dentro de todos los animales en tal magnitud que constituyen una parte absolutamente fundamental de los mismos de hecho, más del 90% de las células en nuestro cuerpo son microorganismos; bacterias y hongos cubren nuestra piel, tapizan nuestra boca y mucosas, proliferan en nuestro intestino. Y lo mismo para las plantas, que en su mayoría no podrían sobrevivir sin los efectos producidos por los microorganismos en el suelo, atmósfera, etc. Y es que los procariotas están presentes en todos los lugares en los que puede existir vida, ocupando un amplio abanico de condiciones ambientales incluso en condiciones imposibles para la vida macroscópica. De hecho, dentro de la insignificancia de la Tierra que constituye un pedazo de roca en medio del espacio que algún día será destruida como ocurre con otras cosas en el espacio, y entonces, ¿serán capaces de sobrevivir estos pequeños seres?, algunos científicos sospechan que las endoesporas, u otras formas de resistencia de las bacterias, pueden escapar de la Tierra en fragmentos de roca disparados por el impacto de asteroides viajando por el espacio en busca de un nuevo planeta donde reproducirse.

Es por esto que a pesar de la concepción de la sociedad actual, en su mayoría basada en el prepotente pensamiento científico actual, del ser humano como culminación de la evolución, una mente abierta a la búsqueda del funcionamiento y significado de la vida como debería ser, al menos, la de un biólogo, debería comprender que la vida no es algo sencillo, eso que vemos todos los días ahí fuera, sino que quizás, la vida esté mucho menos a nuestro alcance de comprender, por mucho que esto nos pese...

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] <http://www.monsanto.es/noticias-y-recursos/prensa/definiciones-de-terminos-t->  
<http://www.definicionabc.com/salud/bacteria.php>
- [2] Libro: "Lamarck y los mensajeros. La función de los virus en la evolución". Máximo Sandín, 1995. Ed Itsmo.
- [3] Presentación Temas 4 y 5 de la asignatura "Ecología microbiana" impartida por M<sup>a</sup> Carmen Guerrero. Curso 2009-2010.
- [4] [http://matap.dmae.upm.es/Astrobiologia/Curso\\_online\\_UPC/capitulo9/frames.htm](http://matap.dmae.upm.es/Astrobiologia/Curso_online_UPC/capitulo9/frames.htm)
- [5] **Microbios en la niebla: descubriendo el papel de los microbios en la biosfera.** R. Guerrero, M. Berlanga. Ecosistemas 14 (2): 3-10. Mayo 2005.
- [6] **ADN MÓVIL Y EVOLUCIÓN.** TITO A. VARELA. Área de Antropología Física. Facultad de Biología. Universidad de Santiago de Compostela.
- [7] **Retrovirus endógenos humanos: significado biológico e implicaciones evolutivas.** Carlos Sentís, UAM
- [8] **Sex and the eukaryotic cell cycle is consistent with a viral ancestry for the eukaryotic nucleus.** J Theor Biol. 2006 Nov 7;243(1):54-63. Bell PJ.
- [9] **Developmental Expression of HERV-R (ERV3) and HERV-K in Human Tissue.** Virology. Volume 297, Issue 2,. 5 June 2002, Pages 220-225. Ann-Catrin Andersson, Patrick J. W. Venables, Ralf R. Tönjes, Jürgen Scherer, Lars Eriksson and Erik Larsson
- [10] **Mobile DNA and evolution in the 21st century.** James A Shapiro.
- [11] <http://axxon.com.ar/mus/info/030059.htm>
- [12] **Wolbachia: a bug's life in another bug.** Achim Hoerauf, Ramakrishna U. Rao. 2007. Pag 92
- [13] **Wolbachia as a speciation agent.** Rockas II. Paper 99-114 of the Institut des Sciences de l'Évolution