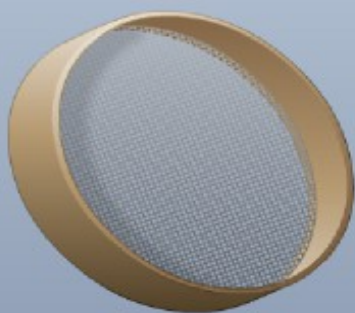


Diciembre 2013



El Tamiz

Compilación de artículos

El Tamiz

(Diciembre de 2013)

Excepto donde se indique lo contrario, © 2013 Pedro Gómez-Esteban González.

pedro@eltamiz.com

<http://eltamiz.com>

El texto de este libro está publicado bajo una licencia *Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas 2.5 España*. Usted es libre de copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra bajo las condiciones siguientes:

- Reconocimiento. Debe incluir esta página completa en la reproducción de la obra, sin alteración alguna.
- No comercial. No puede utilizar esta obra con fines comerciales.
- Sin obras derivadas. No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
- Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claros los términos de licencia de esta obra.
- Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.
- Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.

Índice

Desde la mazmorra.....	1
[Matemáticas I] Ecuaciones.....	2
La teoría microbiana de las enfermedades (I).....	16
[Matemáticas I] Ecuaciones polinómicas.....	32
Posible origen extrasolar del ADN humano.....	50

Desde la mazmorra

Como cada año, el número de diciembre está disponible de manera libre para todo el mundo como minúsculo regalo navideño. Espero que lo disfrutéis; he incluido además el artículo sobre el origen extrasolar del ADN humano, aunque ya haya pasado el día 28, por si alguien lo quiere tener como documentación para el futuro.

Tengo que pedir disculpas por el formato de muchas ecuaciones en el bloque de Matemáticas, ya que la conversión usando LibreOffice me está costando horrores. Quiero escapar de LibreOffice y sólo usar LaTeX, pero este mes no he tenido tiempo... veremos el siguiente.

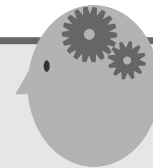
Sin más, os dejo con el contenido de diciembre: no es mucho, pero menos da una piedra. ¡Que lo disfrutéis!

[Matemáticas I] Ecuaciones

Hemos empezado este bloque de refresco de conceptos matemáticos elementales hablando sobre algo fundamental: las variables y expresiones algebraicas. Hoy utilizaremos lo que repasamos entonces para establecer un concepto que se utiliza tanto en Física que es una auténtica obsesión: las **ecuaciones**. Será un artículo largo, porque entender el concepto es fundamental.

En la Física que se estudia hasta entrar en la Universidad me arriesgaría a decir que es el obstáculo principal con el que se encuentra uno: superarlo suele significar no tener ningún problema en resolver casi todo lo que se te ponga por delante. Por otro lado, claro está, no comprender el concepto y las formas de resolver ecuaciones significa ser incapaz de llegar al final de muchas preguntas de Física, que terminan convirtiéndose en ecuaciones simples o grupos de ecuaciones. Digo esto para convencerte de que esto es crucial, y deberías ir despacio pero sin dejar dudas en el tintero.

Antes de hincar el diente a las ecuaciones, sin embargo, debemos asegurarnos de que entendiste completamente el artículo anterior, de modo que parémonos un momento para corregir el segundo *desafío* de la entrada anterior -el primero era una práctica de aritmética que se corregía sola-.



Solución al desafío 2 - Construcción de expresiones

Se nos pedía construir una expresión algebraica lo más sencilla posible para cada uno de los siguientes casos (las unidades no eran muy importantes de modo que no te preocupes si no las has escrito o están mal):

La cantidad de gasolina total que hay en cuatro barriles sabiendo que en cada uno de los cuatro hay diez litros más que en el anterior (el segundo contiene diez litros más que el primero, el tercero diez litros más que el segundo y el cuarto diez litros más que el tercero).

Si llamamos g a la cantidad de gasolina en el primer barril en litros, el segundo contiene $g+10$, el tercero $g+10+10$, es decir, $g+20$, y el cuarto $g+20+10$, es decir, $g+30$. El total será la suma del contenido de todos los barriles: $g+g+10+g+20+g+30$, que podemos escribir de modo más simple como $4g+60$. Aún mejor estaría incluir las unidades: $4g+60$ L.

La superficie de un campo de hierba cuya anchura es el doble que su longitud.

Llamemos d a la longitud del campo en metros, con lo que su anchura es $2d$. Dado que la superficie del campo es el producto de largo por ancho, será simplemente $d \cdot 2d$. Mejor aún multiplicando e incluyendo las unidades: $2d^2$ m².

El precio de una llamada sabiendo el número de segundos que dura si la compañía telefónica cobra diez céntimos por el establecimiento de llamada y un céntimo por minuto de duración.

Una llamada costará 0,1€ para empezar, y además otros 0,01€ por cada minuto. Pero se nos pide en función del número de segundos, de modo que llamemos t al número de segundos que dura la llamada. Entonces el coste total será $0,1+0,01t/60$. Aunque no hay mucho más que hacer para dejarlo más simple, a mí me gusta más aún $0,1+t/6000$ €.

La fuerza con que se atraen dos cuerpos de la misma carga eléctrica, sabiendo que esa fuerza es directamente proporcional a la suma de sus cargas e inversamente proporcional al cubo del doble de la distancia que los separa.

No se indica la constante de proporcionalidad, así que digamos que es C . Llamemos a la carga del cuerpo Q y a la distancia d . La fuerza es directamente proporcional a la suma de las cargas de los dos cuerpos, pero como ambos tienen la misma carga Q esa suma es $Q+Q$, es decir, $2Q$. El cubo del doble de la distancia que los separa es $(2d)^3$, es decir, $8d^3$, con lo que la expresión será

$$\frac{2CQ}{8d^3}$$

Podemos hacerla más simple como

$$\frac{CQ}{4r^3}N$$

Las unidades de fuerza no tenías por qué ponerlas si no te acordabas, no te preocupes ahora por eso.

Lo esencial de todo esto es ganar soltura en traducir el lenguaje cotidiano al lenguaje algebraico: en el colegio puede haber alguien que te dicte los problemas, pero en la vida real eres tú quien debe buscarse las habichuelas.

Concepto de ecuación

Si comprendiste el concepto de expresión algebraica esto no debería tener el menor misterio:

Una ecuación es una igualdad entre dos expresiones algebraicas que se cumple para algunos valores de las variables.

Cada una de las dos expresiones igualadas se denomina **miembro** de la ecuación, y una ecuación siempre tiene, por lo tanto, dos miembros. Un par de ejemplos de ecuaciones son $g^2 - w + y = 3z$, o bien $x + 1 = 4$.

Se trata, aunque sea un concepto simple, de una de las más poderosas herramientas de las Matemáticas: de ahí su belleza. Sé también que pueden intimidar bastante, pero no tengas miedo que iremos poco a poco para que te empapes de lo que significan.

Hay dos claves para comprender el concepto de ecuación algebraica. En primer lugar entender que, a diferencia de una expresión -que puede evaluarse o no y punto-, una ecuación es una afirmación del **equilibrio entre dos cosas**. El equilibrio, *al-ʿabr*, es el núcleo que nunca debes olvidar al mirar una ecuación. Ambas expresiones deben tener exactamente el mismo valor.

Y ésta es la segunda clave de las ecuaciones: una expresión siempre puede evaluarse, aunque a veces el resultado sea raro. Por ejemplo, la expresión $x+1$ valdrá lo que valga (si $x=2$ entonces la expresión valdrá 3). Pero una ecuación, en principio, **no es cierta siempre** sino sólo para determinados valores de sus variables.

La primera ecuación



El signo igual que empleamos hoy, $=$, apareció por primera vez en un libro de Matemáticas escrito por el inglés Robert Recorde en 1557. Recorde decidió utilizarlo porque necesitaba un símbolo que indicase que lo que había a ambos lados era exactamente igual: *¿qué podría ser más idéntico que dos segmentos paralelos de la misma longitud?*

Aunque Recorde no fue el primero en establecer el concepto de ecuación -ya vimos el título del tratado de al-Juarismi de siete siglos antes, por ejemplo- sí parece haber sido el primero en escribir una ecuación en lenguaje matemático. Esa ecuación no es muy complicada, y hoy en día la escribiríamos como $14x+15=71$, pero Recorde la escribió así:

Como puedes ver, además del tamaño descomunal del signo de la suma y el igual, la influencia árabe aún estaba muy presente en los textos matemáticos europeos del XVI.

Si combinas ambos conceptos (equilibrio entre expresiones y validez sólo para ciertos valores de las variables) puedes pensar en una **ecuación como una pregunta**: *¿para qué valores de las variables se cumple esta*

afirmación? Como suele suceder, un ejemplo debería dejarlo claro y meridiano, de modo que pensemos juntos en uno.

Aquí tienes la primera ecuación que vamos a resolver juntos, en todo su esplendor:

$$x+1=4$$

Imagínala como un balancín: a la izquierda $x+1$ y a la derecha 4. El valor de ambos lados -más técnicamente, *miembros*- de la ecuación debe ser el mismo. Pero incluso yo me doy cuenta de que esta afirmación no es siempre verdadera: si $x=100$ la expresión de la izquierda toma el valor 101, y la de la derecha 4. ¡Mentira, porque $100 \neq 4$! El balancín está desequilibrado hacia la izquierda.

También puede ayudarte, como decía antes, pensar en ella como una pregunta: *¿para qué valores de x se cumple que $x+1=4$?* La respuesta es que se cumple únicamente para un valor: $x=3$. Así, a la izquierda el valor de la expresión es $3+1=4$ y a la derecha es también 4. Las variables cuyo valor hace que se cumpla o no la ecuación se denominan **incógnitas**, y el valor de las incógnitas que hace que se cumpla la ecuación suele denominarse la **solución** de la ecuación.

Soluciones de una ecuación

La ecuación de antes sólo tenía una variable y una solución, pero no siempre tiene por qué ser así. Por ejemplo, aunque se trate de una ecuación muy tonta, esta otra tiene múltiples soluciones (mírala un par de minutos e intenta encontrar los valores de t para los que el balancín está equilibrado):

$$2t = \frac{100t}{50}$$

No sólo eso, sino que *es cierta para cualquier valor de t* . Es como un balancín que siempre está equilibrado. Una ecuación que se cumple absolutamente siempre, para cualquier valor de sus variables, recibe el nombre de *identidad*.

Pero es posible imaginar una ecuación con muchas soluciones que no es una identidad, por ejemplo:

$$a=b+1$$

Imagino que ves a dónde quiero llegar. Esta ecuación se cumple para $a=1$ y $b=0$, ya que entonces el miembro de la izquierda vale 1 y el de la derecha $0+1$, es decir, lo mismo. Pero también es cierta para $a=100$ y $b=99$, o para $a=43,75$ y $b=42,75$. De hecho hay infinitos valores de a y b que cumplen la ecuación (todos aquellos en los que b sea uno menos que a), pero no es una identidad, porque no es cierta para *cualquier* valor de a y b .

Cuando avancemos un poco más en el bloque hablaremos sobre cómo atacar problemas como éste, en el que hay infinitas soluciones pero no todos los pares de números lo son, mirando la ecuación de otra manera y utilizando la geometría. Por ahora me basta con que comprendas que hay ecuaciones con múltiples -incluso infinitas- soluciones.

También es perfectamente posible que la ecuación no tenga *absolutamente ninguna solución*. Aquí tienes esta idiotez:

$$z=z+1$$

No hay ningún número para el que pueda cumplirse jamás, de modo que es una *ecuación irresoluble* (aunque si eres programador seguramente estés sonriendo al verla). Ya sé que la ecuación es muy tonta, pero una vez más quiero dejar bien claro que una ecuación puede tener una solución, muchas o ninguna. Sé que en el colegio normalmente te mandaban resolver ecuaciones con una solución, pero cuando ataquemos problemas físicos verás que podemos encontrarnos con casi cualquier cosa.

Ecuaciones equivalentes

Esto seguramente sea lo más importante que vas a aprender hoy. De igual manera que una ecuación puede tener muchas soluciones, *muchas ecuaciones diferentes pueden tener las mismas soluciones*. Todas las ecuaciones con las mismas soluciones se denominan **ecuaciones equivalentes**.

Por ejemplo, las ecuaciones $k-12=0$ y $k-8=4$ son ecuaciones equivalentes, porque ambas comparten soluciones (en este caso *solución*, porque sólo hay una): $k=12$. Ya sé que esto puede parecer una solemne estupidez pero, como digo, es importantísimo.

La clave es que matemáticamente hablando, por definición, todas las ecuaciones equivalentes son exactamente igual de válidas (no son más que maneras diferentes de expresar la misma verdad), pero para nosotros no son lo mismo porque *unas pueden ser mucho más sencillas que otras*.

De hecho, si te fijas en las dos ecuaciones equivalentes del ejemplo anterior, ambas son a su vez equivalentes con $k=12$, que es la expresión de la solución. Podrías decir, si fueras un pedante sin la menor vergüenza, que resolver una ecuación es *escribir la ecuación equivalente más simple posible*.

¿Cómo conseguirlo? Haciendo lo que nos dé la real gana, pero manteniendo siempre el núcleo de toda ecuación: *al-yabr*. Si piensas en la ecuación como una balanza en equilibrio, la única manera de que siga estándolo al modificarla es haciéndolo igual en ambos lados de la balanza. Dicho en términos más técnicos, sólo podemos realizar cambios en la ecuación que hagan una de dos cosas:

La primera y más sencilla es hacer algo *que no modifique el valor* de ninguna de las dos expresiones. En términos de balanza, algo que no varíe la masa de ninguno de los dos lados de la balanza. Así, si al principio había cinco kilos en cada lado y luego sigue habiendo cinco kilos en cada lado, sigue manteniéndose la relación de igualdad entre ambos términos *¡porque ninguno ha cambiado de masa, quiero decir, de valor!*

Por ejemplo, podemos convertir $x+1=3+4$ en $x+1=7$, ya que el valor de $3+4$ es el mismo que el de 7. Insisto: ambas son equivalentes pero la segunda es superior en el sentido de que es más simple y ése es nuestro objetivo.

La segunda es un poco más complicada pero suele ser más útil. Podemos modificar el valor de ambas expresiones *en la misma medida*. En términos de balanza, podemos modificar la masa de ambos lados de la balanza pero de igual modo. Así, si la masa es de cinco kilos a cada lado y añadimos diez kilos a cada uno se sigue manteniendo la igualdad: ahora hay quince kilos a cada lado. Si luego duplicamos la masa a ambos lados sigue manteniéndose la igualdad: ahora hay treinta kilos a cada lado.

STOP

¡Ojo! Que los números cambien no quiere decir que la ecuación ya no sea cierta

A veces nos resulta raro que una ecuación en la que ambos miembros tenían un valor de 5 se convierta en otra en la que cada miembro tiene un valor de 30 y digamos que son equivalentes. Pero ¿no es en un caso el valor a cada lado seis veces mayor que en el otro?

Sí, lo es, pero la ecuación no es una expresión: es una igualdad entre dos expresiones. Lo que debe seguir cumpliéndose no es que cada expresión tenga el mismo valor de antes, sino que sea cierto que ambas expresiones son iguales. Tan cierto es que $x+y=5$ que $2x+2y=10$, de modo que ambas expresiones son equivalentes, es decir, tienen las mismas soluciones.

Una cosa muy diferente sería decir que las expresiones $x+y$ y $2x+2y$ son equivalentes: no lo son, ya que una es el doble que la otra.

Por ejemplo, podemos convertir $a+300=b+100$ en $a+200=b$ simplemente restando 100 a ambos miembros de la ecuación (como si quitásemos 100 kg a cada lado de la balanza). Las ecuaciones son equivalentes, pero una vez más la segunda es más simple que la primera y, para nosotros ahora mismo, superior por esa misma razón.

Técnicas comunes

Empecemos a atacar ecuaciones concretas con técnicas muy útiles. Por ahora vamos a trabajar con ecuaciones bastante simples: de una sola variable y sin operaciones matemáticas demasiado enrevesadas. En

las primeras, de hecho, seguramente puedas ver a ojillo de buen cubero el valor de la solución, pero paciencia que todo llegará, y las ecuaciones complicadas también.

De hecho es relativamente común meter la pata en ecuaciones simples si intentas hacerlo más deprisa de lo que tu capacidad te permite -muchos tendemos a sobrevalorar nuestra habilidad-. Por eso es mejor ir más despacio de lo necesario que más deprisa.

Imagina que nos topamos con esto:

$$j-200=300$$

Te recuerdo nuestro objetivo: encontrar la forma más simple posible de la ecuación, es decir, la solución. Podemos hacerlo modificando ambos miembros de modo que si cambian sus valores lo hagan del mismo modo, por ejemplo, **sumando o restando la misma cantidad en ambos miembros**. En este caso podemos sumar 200 en ambos miembros:

$$j-200+200=300+200$$

Es decir, $j=500$, que es la solución de la ecuación. Para asegurarnos de que no hemos metido la pata es conveniente volver a la forma original de la ecuación y comprobar que, efectivamente, hemos encontrado la solución. ¿Por qué? Porque hemos intentado encontrar una ecuación equivalente a la primera, y lo habremos hecho siempre que no hayamos modificado alguno de los dos miembros de un modo diferente al otro. ¿Tú te fías de ti mismo? Yo no, de modo que sustituyamos $j=500$ en la ecuación original:

$$500-200=300$$

De modo que lo hemos hecho bien. Esta técnica de sumar o restar una misma cantidad en ambos miembros es una de las dos más frecuentes que se pueden emplear.

La otra es muy similar, y consiste en **multiplicar o dividir ambos miembros por la misma cantidad**. Resolvamos juntos esta ecuación:

$$\frac{h + 20}{4} = 20$$

Podemos hacerlo en pocos pasos. En primer lugar multipliquemos ambos miembros por 4:

$$4 \frac{h + 20}{4} = 4 \cdot 20$$

Es decir,

$$h + 20 = 80$$

Pero ahora no tenemos más que aplicar la primera técnica que hemos visto, restar 20 en ambos miembros, para obtener la solución,

$$h + 20 - 20 = 80 - 20$$

$$h = 60$$

Y, una vez más, no estaría mal volver a la ecuación original y sustituir el valor que pensamos que la resuelve:

$$\frac{60 + 20}{4} = 20$$

Operando vemos que, efectivamente, ambas expresiones tienen el mismo valor: hemos conseguido equilibrar la balanza y al Juarismi estaría orgulloso de nosotros.

¡Ojo! Los números no pasan de un lado al otro

Es relativamente común, hablando informalmente, decir cosas como *"el siete pasa al otro lado multiplicando, porque está dividiendo"* en ecuaciones como ésta:

$$x7=10 \Rightarrow x=70$$

Sin embargo, es una manera de hablar: los números no "pasan" de un sitio al otro. Lo que sucede realmente ahí arriba es que hemos multiplicado ambos miembros de la ecuación por un mismo número, el siete. Sé que el resultado es el mismo que hablando en términos de "pasar al otro lado", pero si confías en mi experiencia y o bien estás empezando en esto o bien nunca se te dio muy bien, **aléjate de esa manera de pensar como de la peste.**

No tiene peligro para los experimentados, pero para quienes no han asimilado bien los conceptos bien dichos, ese "pasar al otro lado" lleva muy a menudo a cometer errores terribles y, lo que es peor, a no asimilar lo que realmente sucede. No: si estás empezando es mucho mejor que asientes los conceptos haciéndolo correctamente y hablando con propiedad, incluso si te parece que es una tontería o estás perdiendo el tiempo. Avisado estás.

Técnicas que introducen o eliminan soluciones

Como digo, cualquier operación que produzca una ecuación equivalente a la original vale. El problema aparece cuando lo que hagamos, aunque sea lo mismo en ambos miembros, no mantenga la equivalencia porque elimine algunas soluciones o haga aparecer alguna nueva. Sé que esto puede parecer raro, de modo que veamos un ejemplo de cada caso.

En la siguiente ecuación podemos hacer todo más sencillo si dividimos ambos miembros por u :

$$u^2 + u = u^3 + u^4$$

$$u + 1 = u^2 + u^3$$

Sin embargo, la nueva ecuación ya no es equivalente a la primera. El problema está en que en la ecuación original $u=0$ era una solución (aunque hubiese más), pero en la nueva ecuación $u=0$ ya no es una solución. Hemos modificado el conjunto de soluciones y eso es anatema. Es algo que sucede a menudo cuando la cantidad por la que dividimos es una variable, pero no es mala cosa pensar en esta posibilidad siempre.

Ahora bien, no hay problema en hacer lo que acabamos de hacer para simplificar la ecuación *siempre que seamos conscientes de ello*: que cuando resolvamos la ecuación simple y obtengamos todas sus soluciones no olvidemos que a ellas debe añadirse la solución "desaparecida", $u=0$.

Lo contrario, añadir soluciones, puede suceder en casos como el siguiente. Imagina que, para obtener una ecuación más simple, hacemos una operación compleja como, por ejemplo, hacer la raíz cuadrada de cada miembro, algo de lo que no hemos hablado aquí porque no nos hará falta por ahora:

$$(z-2)^2=4$$

$$z-2=2$$

Resolver la ecuación es muy fácil ahora, ya que la solución es $z=4$. Pero al hacer la raíz cuadrada tan alegremente nos hemos cargado una solución, porque hemos sustituido $\sqrt{4}=2$ pero lo mismo podríamos haber hecho $\sqrt{4}=-2$. Una vez más, no hay problema si recordamos que no tenemos una sola ecuación equivalente, sino dos que debemos resolver:

$$z-2=2$$

$$z-2=-2$$

En otras palabras, no hemos obtenido una ecuación equivalente a la original, sino un conjunto de dos ecuaciones cuyas soluciones conjuntas son las mismas de la original, algo así como un *conjunto equivalente de ecuaciones*. Aunque detalles como éste sean sutiles y puedan asustarte, no te preocupes: en la siguiente entrada veremos cómo es muy fácil que no se te escape ninguno en ecuaciones de una sola variable.

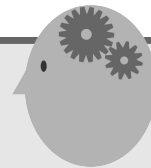
Ideas clave

Aunque este capítulo tenga muy pocos conceptos (siendo largo, que lo es), son cosas absolutamente fundamentales para poder seguir con garantías los siguientes artículos, así que ojo avizor:

- Una **ecuación** es una **igualdad entre dos expresiones** algebraicas que se denominan **miembros**.
- Las **soluciones** de una ecuación son los valores de sus variables que hacen que **se cumpla la igualdad**.
- Una ecuación que siempre se cumple es una **identidad**, y una que no se cumple jamás es una ecuación **irresoluble**.
- Dos ecuaciones son **equivalentes** si tienen las **mismas soluciones**.
- Las técnicas más comunes para resolver ecuaciones sencillas son **sumar/restar** la misma cantidad a ambos miembros o **multiplicar/dividir** por la misma cantidad ambos miembros.
- Otras técnicas, como dividir ambos miembros por una variable o hacer raíces o potencias, pueden **introducir o eliminar soluciones**.

Antes de seguir...

Imagino que te lo esperas: voy a forrarte a ecuaciones. En el siguiente capítulo haré lo mismo con otras aún más difíciles, pero no viene mal empezar a practicar ya.



Desafío 3 - Ecuaciones simples

El objetivo es que obtengas las soluciones, si las hay, a las siguientes ecuaciones. Un consejo: en cada paso en el que no operes simplemente números, asegúrate de que comprendes *qué estás haciendo en ambos miembros de la ecuación*. Es más importante que asimiles el procedimiento a que obtengas resultados rápidos:

1. $-p-2=p+8$

2. $2h-1=(h+1)/2$

3. $y^2=y/4$

4. $6(w-2)=13w-(w+12)$

5. $(x-1)/4+x=x/6-4$

6. $2/q-4/q+q/q^2=0$

La teoría microbiana de las enfermedades (I)

Hoy volvemos a *Hablando de...*, la serie en la que hablamos más o menos de todo. Su objetivo es mostrar cómo todo está conectado de una manera u otra, de manera que cada artículo enlaza con el siguiente por algo que ambos tienen en común; los primeros 32 artículos de la serie están disponibles, además de en la web, en forma de dos libros, y probablemente algún día haya un tercero.

En los últimos artículos hemos hablado del café, bebida protagonista de la *Cantata del café* de Johann Sebastian Bach, cuya aproximación intelectual y científica a la música fue parecida a la de Vincenzo Galilei, padre de Galileo Galilei, quien a su vez fue padre de la *paradoja de Galileo* en la que se pone de manifiesto lo extraño del concepto de infinito, cuyo tratamiento matemático sufrió duras críticas por parte de Henri Poincaré, el precursor de la teoría del caos, uno de cuyos padres, Sir Robert May, fue Presidente de la *Royal Society* de Londres, sociedad formada a imagen de la *Casa de Salomón* descrita en el *Nova Atlantis* de Francis Bacon cuando científicos de las siguientes generaciones leyeron sus escritos, como le sucedió a Robert Boyle, cuyo trabajo en óptica fue bienintencionado pero muy inferior al de otros estudiosos de la naturaleza de la luz, cuyo carácter de onda electromagnética nunca hubiéramos descubierto sin la ayuda de Michael Faraday, que también propuso mejorar el alcantarillado de Londres pero no se le hizo caso porque no había sido aceptada aún la teoría microbiana de las enfermedades.

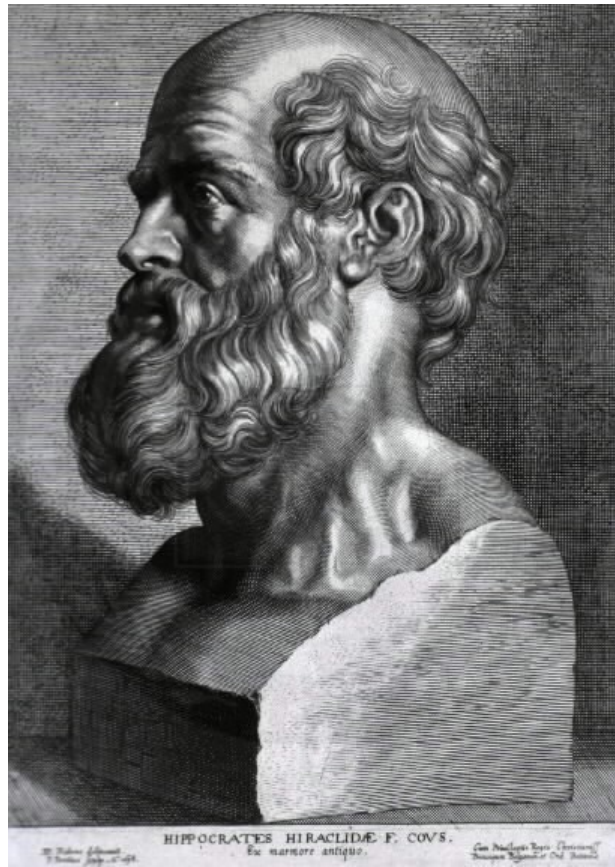
Pero hablando de la teoría microbiana de las enfermedades...

La palabra *microbiano* proviene de la combinación de las palabras griegas *micro* (pequeño) y *bios* (vida). Decir que las enfermedades infecciosas tienen origen microbiano, por lo tanto, es afirmar que son producidas por minúsculos organismos vivos - los *microbios* o *gérmenes* usando términos más bien antiguos. Hoy en día, naturalmente, tenemos bien claro que esto es así y que enfermedades como el cólera, la malaria o la peste están producidas por organismos diversos: virus, bacterias, tripanosomas, amebas, etc. Sin embargo esta teoría de la enfermedad, la *teoría microbiana* o *teoría germinal* de las enfermedades infecciosas es muy reciente y durante milenios pensábamos que las infecciones estaban producidas por otras causas.

De hecho, si ponemos esto en contexto, recuerda el artículo anterior sobre Faraday: el inglés hubiera tenido éxito en su empeño por limpiar el Támesis si los británicos hubieran tenido claro el origen microbiano de las enfermedades, pero esto no era así, ¡en 1855! Años después de que conociéramos aproximadamente el valor de la velocidad de la luz o la conexión entre electricidad y magnetismo y siglos después de que Newton enunciase su Ley de gravitación universal aún no sabíamos por qué morían millones de seres humanos de peste. Y esto a pesar de que, por interesante que sea la gravedad, el impacto sobre nuestra vida de la comprensión del origen de las enfermedades infecciosas es infinitamente mayor.

El problema, claro, es que es difícilísimo identificar el origen microscópico de las infecciones. La concepción más antigua era que las enfermedades estaban causadas generalmente por dos razones: o bien por un *desequilibrio humoral* o bien por el *contagio* (que no significa lo que ahora). Curiosamente estas dos ideas han estado enormemente extendidas por casi todas las culturas, lo cual no es casualidad, por supuesto - por una parte se debe a que parecen lógicas a primera vista, y por otra las traducciones de tratados de medicina de unos lugares han influido sobre los otros.

La menos científica de las dos ideas es la **teoría humoral**, que seguro que conoces aunque sea sólo de pasada. Aparece por todas partes, aunque su forma más conocida en Occidente es la propuesta por el médico griego Hipócrates de Cos, muchas veces llamado el *padre de la medicina*. Según Hipócrates en el cuerpo hay cuatro *humores* o líquidos: la sangre, la flema, la bilis amarilla y la bilis negra. Si los cuatro humores están en equilibrio el ser humano está sano, pero si no lo están porque hay demasiada sangre respecto al resto, o demasiada bilis negra, o lo que sea, entonces aparece la enfermedad.



Hipócrates (ca. 460-370 a.C.), en un grabado de Rubens.

Hipócrates asoció además al exceso de cada uno de los cuatro humores una tendencia en la personalidad, y tan influyente fue el griego que las palabras que usamos hoy en día para muchos estados de ánimo e incluso personalidades siguen teniendo su origen en los cuatro humores. Así, una persona con demasiada sangre era sanguínea, una con demasiada flema flemática, el exceso de bilis -en griego, *chole*- producía un carácter colérico, y la bilis negra -en griego *melan chole*- provocaba melancolía o depresión.

Para rizar el rizo, la teoría humoral sostenía que la dieta hacía cambiar el equilibrio de los humores y, por tanto, podía no sólo provocar enfermedades o curarlas sino cambiar el carácter del individuo. Así, si alguien era naturalmente colérico -exceso de bilis- no era conveniente que comiera demasiado cordero, un alimento colérico, porque entonces se exacerbaba el problema. También era posible, por supuesto, disminuir un exceso - la sangre se extraía con sanguijuelas cuando había "demasiada". No tengo ni idea de cómo se eliminaba un exceso de bilis negra de un modo similar, porque no creo que nadie supiera exactamente qué era.



Los cuatro temperamentos según la teoría humoral en un tratado del XVIII. De arriba a abajo e izquierda a derecha: flemático, colérico, sanguíneo, melancólico.

El caso es que la teoría humoral se extendió a Roma, y Galeno estaba absolutamente convencido de ella. También fue fundamental en la medicina islámica medieval, y *al-Qānūn fī al-Ṭibb*, el *Canon de medicina* de Ibn Sīnā (Avicena) de 1025, habla largo y tendido sobre los cuatro humores. No son, por cierto, exactamente los fluidos corporales en los que pensamos hoy usando esas palabras; así, la flema contiene las mucosidades segregadas por diferentes mucosas, pero no se restringe a eso. Según Avicena, enormemente influido por Hipócrates,

De la mezcla de los cuatro en diferente cantidad, [Dios] creó los diferentes órganos; uno con más sangre, como el músculo, uno con más bilis negra como el hueso, otro con más flema como el cerebro, y otro con más bilis amarilla como el pulmón.

Aunque esta teoría no tiene sentido, su atractivo es enorme porque se alimenta de una debilidad de la mente humana: nos fascina, nos deja encandilados, la idea de *equilibrio*. Pensar que si tienes una enfermedad es porque tu cuerpo no está en equilibrio de algún modo, y que devolverlo a ese *equilibrio natural* curará la enfermedad es algo que nos proporciona -no sé por qué- una enorme satisfacción. Es como si, de

forma irracional, "tuviera sentido". De hecho esta concepción de equilibrio sigue estando presente en muchos textos pseudocientíficos, aunque ya no hablen de humores -porque es posible demostrar la falsedad de eso muy fácilmente- sino más bien de *energías* o cosas parecidas.



Canon de medicina de Avicena, en una edición del siglo XVI ([Danieliess \[http://en.wikipedia.org/wiki/File:Canon_ibnsina_arabic.jpg\]](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Canon_ibnsina_arabic.jpg) / CC Attribution-Sharealike 3.0 License [http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en]).

El problema de la teoría humoral es que no hace falta pensar mucho para darse cuenta de que no puede explicar todas las enfermedades. Por ejemplo, si en una ciudad hay mucha gente con una enfermedad con síntomas muy concretos y un viajero llega a ella para luego caer enfermo, ¿*qué desequilibrio ha producido la enfermedad?* Parece haber una conexión muy clara entre su llegada y el desarrollo de la enfermedad. Por eso, también desde muy antiguo, hubo una idea del *contagio* de las enfermedades; la palabra proviene del latín *con* (*con*) y *tangere* (*tocar*), es decir, algo así como *con contacto*. La teoría -de nombre engañoso, luego veremos por qué- podríamos llamarla **teoría de contagio**.

La concepción antigua era que este tipo de enfermedades eran causadas por una corrupción o impureza en el individuo, y al estar en contacto con él otros podían también contraer la misma corrupción del cuerpo. Por eso solía aislarse a muchos enfermos infecciosos. Incluso se consideraba que la impureza podía transmitirse a cosas no vivas, como la ropa, y que era necesario quemarla para evitar el contagio a otras personas - algo absurdo en cuanto a impureza, pero no en cuanto a la eficacia de la conducta, afortunadamente.

Lo absurdo de las concepciones más primitivas sobre el contagio era que se pensaba que *el origen último de esta corrupción estaba en el propio individuo*: la corrupción era un castigo o una consecuencia de un defecto inherente al ser humano. Por lo tanto, en gran medida estas enfermedades se consideraban merecidas. Esta corrupción podía luego adquirirse al entrar en contacto con él, y al fin y al cabo era una vez más un castigo para el siguiente contagiado, que no debería tener contacto con alguien impuro. Esta conexión entre enfermedad y "pureza del individuo" era absurda pero fue aceptada durante siglos, al menos por los más ignorantes: la mayor parte de los médicos chinos, griegos o romanos no la aceptaban e intentaron explicar esto de un modo racional.

Lo que no sabían, por supuesto, era exactamente *qué era* eso que se transmitía de una persona a otra, ni cómo sucedía la transmisión. De hecho, si se pensaba con cuidado sobre el asunto y se examinaban casos de contagio diferentes, era también fácil llegar a la conclusión de que la propia palabra *contagio* no era muy afortunada. En muchos casos alguien adquiría una enfermedad de algún lugar o alguna persona sin tocar a nadie infectado - es decir, sin *tangere*. ¿Cómo era esto posible?

La explicación más aceptada como alternativa al contacto era la **teoría miasmática**, algo más moderna y más sofisticada que la de contagio o la humoral, porque está basada en la observación y el raciocinio. La teoría miasmática surgió en diversos lugares, en apariencia de forma independiente, como China y Roma, y como digo tiene bastante sentido -al menos, en ausencia de microscopios, y por entonces no los había-. Veamos por qué.

Muchos médicos se percataron de lo siguiente: era posible contraer una enfermedad estando simplemente cerca de una persona afectada, o en una zona en la que había muchos casos de la enfermedad. Además, muy a menudo se encontraba una correlación entre el número de enfermos de cierta dolencia -por ejemplo, el tifus- con la falta de higiene y el hacinamiento. Al unir ambas observaciones, la conclusión independiente en varios lugares fue que la suciedad, la putrefacción y cosas parecidas emitían un aire contaminado o *miasma* -del griego *miasma*, *contaminación*-, y este aire contaminado entraba en el cuerpo y producía un efecto similar sobre él: la putrefacción.



Representación del cólera como miasma (dominio público).

Insisto en que, a pesar de ser errónea, la teoría miasmática no es absurda: al menos considera la idea de que la enfermedad puede ser consecuencia, no de un desequilibrio interno, sino de la *entrada en el cuerpo de un agente patogénico externo*, aunque no esté vivo. Una vez más, como en el caso de quemar la ropa de alguien infectado, la teoría miasmática llevó a comportamientos en muchos casos beneficiosos: mejorar las condiciones higiénicas, por ejemplo. De hecho este tipo de comportamientos daban gran apoyo a la teoría miasmática, ya que se comprobó que al mejorar las condiciones de higiene y disminuir el hacinamiento el número de enfermedades infecciosas en muchos casos disminuía.

El problema es, por supuesto, que la teoría miasmática no es correcta, y en muchos casos no ayudaba en absoluto a resolver el problema. Hace ya años hablamos en esta misma serie de la peste negra. Como recordarás si leíste el artículo, los médicos que atendían a enfermos en muchos lugares llevaban trajes especiales con máscaras de pájaro y filtros y especias en el pico - un ejemplo de aplicación de la teoría miasmática, ya que el filtro y las especias pretendían precisamente evitar que el miasma afectase al médico. La eficacia en este caso, como en muchos otros, era nula, claro.



Grabado medieval de un médico para tratar con enfermos infecciosos (*Imagery from the History of Medicine* [<http://art-bin.com/art/medhistorypix/omedicalimages19.html>]).

Hablando de la peste, el médico almeriense del siglo XIV Ahmad ibn Jatima afirmaba en un tratado sobre la enfermedad:

La existencia de contagio es conocida por la experiencia, la investigación, la evidencia de los sentidos e informes fidedignos. Estos hechos constituyen un argumento de peso. El hecho de la infección se vuelve claro al investigador que nota cómo aquel que establece contacto con el afligido coge la enfermedad, mientras que aquel que no está en contacto permanece sano, y cómo la transmisión es afectada a través de prendas, vasijas y pendientes.

Hoy en día sabemos, desde luego, que compartir un pendiente con alguien afectado por la peste no tiene el menor peligro ni es posible que así se transmita la enfermedad, pero una vez más al menos somos testigos de una actitud que pone énfasis en la experiencia y la "evidencia de los sentidos". El caso es que, hasta la época de Faraday, las tres posibles explicaciones de las enfermedades eran la teoría humoral -que funcionaba muy mal para las infecciosas-, la de contagio y la miasmática. Recuerda que "contagio" no quiere decir aún lo que hoy en día significa: es literalmente la infección por entrar en contacto con una persona contaminada u objetos tocados a su vez por esa persona.

¿Por qué tardamos tanto tiempo en llegar más allá? Porque es muy difícil aplicar el empirismo al problema de las enfermedades infecciosas: la causa real, es decir, los microorganismos, no es detectable a simple vista, y la invención del microscopio es relativamente reciente. Además no hace falta sólo un microscopio, sino relacionar cosas aparentemente inconexas y darse cuenta de la **relación causa-efecto** entre ellas.

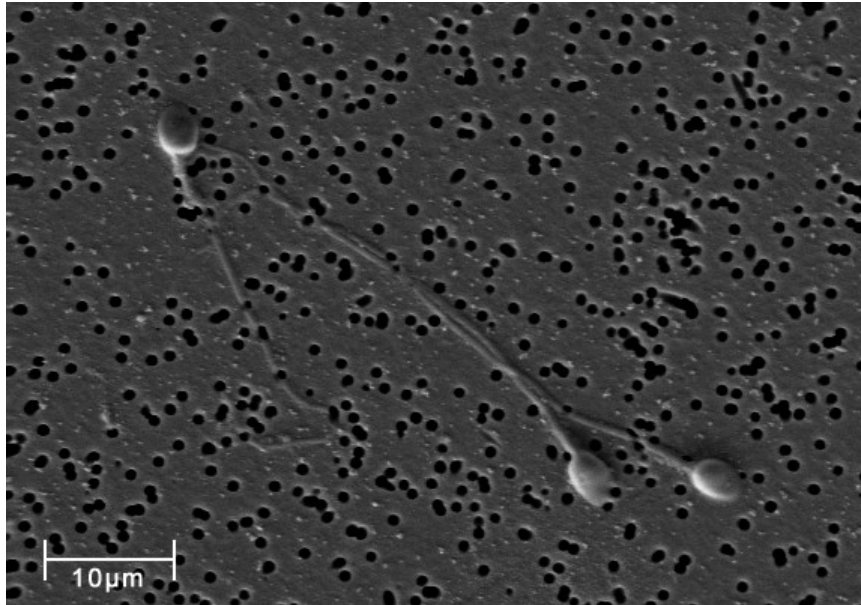
Hacía falta por lo tanto dar esos dos pasos: en primer lugar ser conscientes de la *existencia de vida microscópica*, y en segundo lugar identificar algunas de esas formas de vida con el *origen de las enfermedades infecciosas*.

El primero en detectar un microorganismo -no en relacionarlo con las enfermedades- fue el padre de la microbiología, el holandés Antonie Philips van Leeuwenhoek, a finales del siglo XVII. Van Leeuwenhoek no era un científico profesional, pero en un momento dado se despertó en él un interés por el trabajo en vidrio y la fabricación de lentes. En cuanto dispuso de lentes de bastante aumento y las asoció para formar un microscopio se dedicó a mirar todo lo que se le ponía delante - y nadie había conseguido la potencia de los microscopios de van Leeuwenhoek (unos 200 aumentos), ni nadie lo conseguiría durante décadas.



Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723).

Cuando el holandés miró una gota de agua del lago Delft cercano a su casa se encontró con criaturas microscópicas nadando en la gota: criaturas más o menos redondas con diminutos pelillos que vibraban para propulsarlas por el agua. Hoy en día sabemos que vio diversos protozoos, muchos de ellos ciliados, pero él denominó a estas criaturas invisibles al ojo humano *animálculos* (*pequeños animales*), un nombre menos afortunado que *microorganismos* pero bastante más poético. Van Leeuwenhoek miró con sus microscopios muchas otras cosas -entre ellas esperma, y vio los espermatozoides nadando en él- y se dio cuenta de que estos *animálculos* estaban por todas partes.



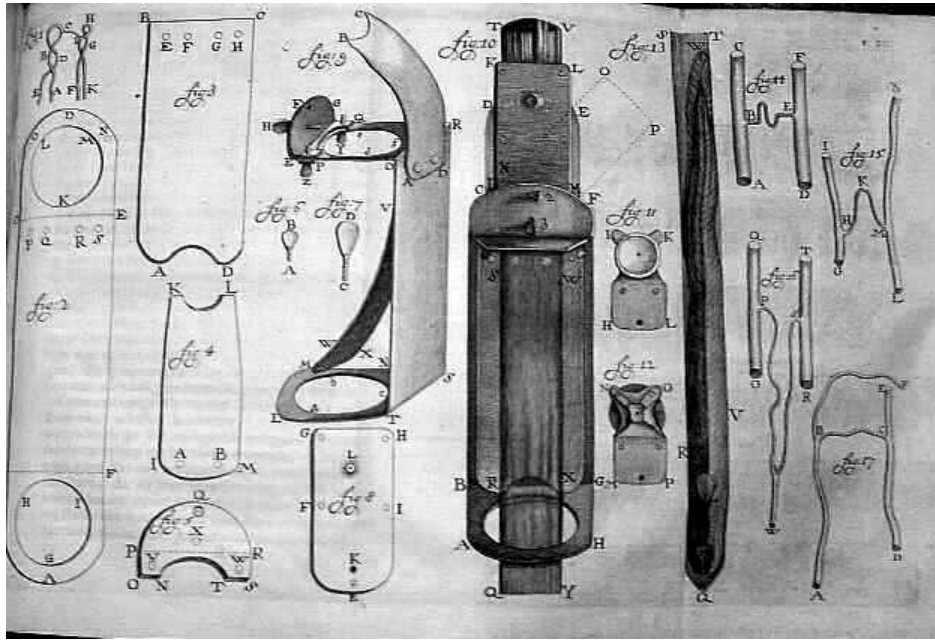
Animálcul... quiero decir, espermatozoides humanos (dominio público).

Esta idea de que existían multitud de seres invisibles a nuestro alrededor, de tamaño diminuto, puede hoy en día resultar evidente pero a finales del XVII puedo asegurarte que no lo era. Van Leeuwenhoek comunicó sus descubrimientos a un amigo, el médico Reinier de Graaf, ya que él mismo no era, como he dicho antes, un científico profesional (era un mercader de telas) con lo que no publicaba cosas él mismo. De Graaf leía regularmente una de las publicaciones científicas más importantes del mundo, la *Philosophical Transactions* de la *Royal Society* británica, que imagino que no hace falta que te recuerde, y en un momento dado la revista publicó una descripción de las observaciones realizadas con un microscopio por un italiano.

De Graaf, consciente de que los microscopios de van Leeuwenhoek eran muchísimo más potentes que los descritos en la revista, escribió al editor y le habló de ellos y su superioridad a los del italiano aquel. La *Royal Society* se puso en contacto con el mercader de telas, y en 1673 publicó a su vez algunas de las

observaciones del holandés sobre piojos, agujones de abeja y mohos. Hasta ahí todo fantástico, y van Leeuwenhoek ganó prestigio.

Ahora bien, en un momento dado el mercader de telas tuvo la ocurrencia de mencionar la existencia de *seres vivos microscópicos* por todas partes, y a los científicos de la Royal Society les entró un ataque de risa. ¿Criaturas invisibles por todas partes? ¡Vamos, hombre!

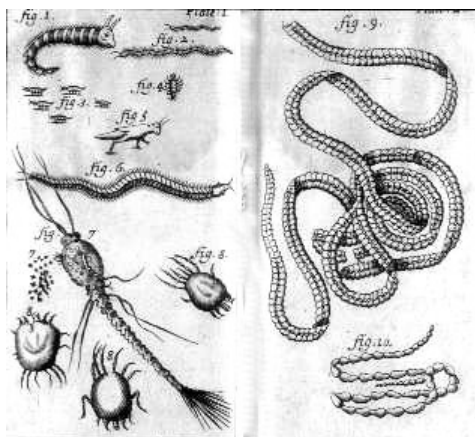


Diagramas de algunos microscopios de van Leeuwenhoek.

Afortunadamente los miembros de la *Society* podían ser un poco arrogantes, pero no estúpidos. En 1677 enviaron una especie de comité formado por personas fiables y de prestigio, algunos de ellos miembros de la sociedad, para que van Leeuwenhoek les mostrase estos organismos. Me hubiera encantado ver la cara de los miembros del comité al ver protozoos nadando en el agua o espermatozoides, pero sólo puedo imaginar su expresión de sorpresa; el caso es que confirmaron el descubrimiento -absolutamente revolucionario- del holandés, y el mundo fue consciente de la presencia de los microorganismos, si bien aún no de su conexión con las enfermedades infecciosas.

El primero, que yo sepa, en realizar la conexión entre los *animálculos* de van Leeuwenhoek y las enfermedades fue un médico francés, Nicolas Andry de Bois-Regard. Poco tiempo después de la publicación de las observaciones del holandés, Andry se dedicó a realizar sus propias observaciones, pero no por curiosidad en general, sino específicamente para su aplicación en medicina. En 1700 Andry publicó *De la génération*

des vers dans les corps de l'homme (Sobre la generación de gusanos en el cuerpo del hombre), donde sugería que muchas enfermedades, como la viruela, estaban causadas por la entrada y proliferación de *gusanos* microscópicos en el cuerpo.



Ilustraciones de Andry en *De la génération... de "gusanos" microscópicos*.

El francés llamaba *gusanos* a casi todos los seres microscópicos, un término nada afortunado -menos aún que *animálculos*, seguramente-. Aunque desconozco la razón, sospecho que era una mezcla de cosas. Por un lado, como médico Andry estaba acostumbrado a tratar enfermedades en las que sí estaba clara la causa: las enfermedades parasitarias en las que el parásito no es microscópico, muchas veces gusanos. Ahora bien, si resultaba ahora que existía una miríada de seres microscópicos, muchos de ellos con apariencia similar a un gusano, ¿no era lógico pensar que algunos de estos fueran parásitos y provocaran enfermedades como las de los gusanos macroscópicos?

Aunque Andry nunca pudo identificar un ser concreto que provocase una enfermedad determinada, creo que su sugerencia probablemente influyó en otros, y desde luego el francés no iba desencaminado. Pero, aunque parezca mentira, absolutamente nada nuevo sucedió durante más de un siglo. El XVIII no supuso, desconozco por qué, ningún avance en microbiología. Hubo que esperar hasta el primer tercio del XIX para que alguien descubriese algo nuevo en este campo.

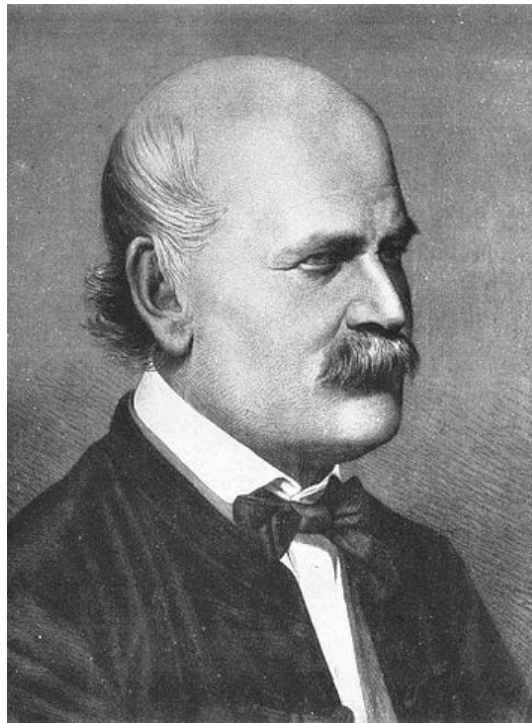
El responsable fue un italiano, Agostino Bassi, y el descubrimiento se debió a su interés en los gusanos de seda, *Bombyx mori*. Una enfermedad llamada en italiano *moscardino* y en castellano *muscardina* estaba matándolos a espuestas en Italia y Francia, y Bassi se dedicó -microscopio en mano, afortunadamente- a determinar la causa. El italiano consiguió algo que nadie había logrado antes: examinando las cepas infectadas y sanas determinó que **en las infectadas había cosas vivas de tamaño microscópico que no existían en las sanas**.

Bassi publicó en 1835 *Del mal del segno, calcinaccio o moscardino*, donde explicaba la causa microscópica de la muscardina -que es, por cierto, un hongo que se contagia a través de esporas microscópicas-. Poco después amplió esta idea al ser humano, y se planteó un origen microbiano de muchas enfermedades. Aunque sus ideas no fueron aceptadas de manera general, muchos otros científicos fueron influidos por ellas. Entre ellos un francés del que volveremos a hablar luego, Louis Pasteur: si recuerdas su artículo en esta serie, curiosamente él también estudió enfermedades infecciosas de los gusanos de seda, en su caso franceses. Pasteur tenía en su despacho un retrato de Bassi, que fue una gran influencia sobre él.

No sé si fue la influencia de Bassi, pero a partir de mediados del XIX la cosa se aceleró muchísimo. Sospecho que hay varias causas, además del italiano. Por una parte la mejora en los microscopios y en el rigor del trabajo de laboratorio; por otra la aparición en Europa de enfermedades desconocidas antes, como el cólera -del que hablaremos en un momento y barrió Londres varias veces en época de Faraday-, y finalmente por la mayor comunicación entre científicos gracias a la mejora en el transporte y las comunicaciones.

Aunque no descubriese ser vivo alguno, otro pionero en este campo fue un austríaco, Ignaz Semmelweis, que trabajaba como ginecólogo en el *Allgemeines Krankenhaus* de Viena a mediados de siglo. En aquella época era relativamente frecuente que las mujeres que daban a luz contrajeran *fiebres puerperales*, cuyo nombre proviene precisamente de *puerperus* (*dar a luz*), una infección muy peligrosa. Muchas de ellas morían, y nadie sabía la causa de la enfermedad. Había sido poco común hasta principios del XIX, pero a partir de 1820 más o menos el número de casos se disparó en Viena.

Semmelweis estaba especialmente preocupado por esto ya que en el hospital había partos en dos lugares: uno era el departamento de ginecología donde enseñaba a estudiantes de medicina. El otro era el lugar donde estudiaban las futuras comadronas. En el ala de ginecología morían **ocho veces** más mujeres que en el ala de las comadronas. *¿Era ocho veces más probable morir en un parto en el que había médicos que en uno en el que no los había!*



Ignaz Semmelweis (1818-1865).

El ginecólogo quedó muy afectado por esto, e intentó encontrar la causa de un modo empírico. *¿Qué había realmente de diferente entre los doctores y las comadronas?* La respuesta fue accidental. Un colega de Semmelweis se hizo un corte accidental durante una autopsia, con el bisturí que estaba empleando en el cadáver, y murió pocos días después de septicemia.

Semmelweis miró los horarios y se dio cuenta de una diferencia muy clara entre comadronas y médicos: los médicos residentes realizaban autopsias por la mañana antes de pasar consulta en ginecología. Las comadronas, por supuesto, no. *¿Podría esto ser la causa de las fiebres puerperales?* Semmelweis hizo que todos los médicos y alumnos de su ala se lavaran las manos con una disolución de sosa y cloro entre pacientes y tras las autopsias. En un mes la tasa de mortalidad por fiebre puerperal en su ala había bajado del 18% al 3%.

¿Es posible que los médicos no se lavaran las manos antes de atender un parto? Hombre, hasta cierto punto: probablemente sí lo hacían, pero no con un antiséptico ni con mucho cuidado. Recuerda que ni siquiera el propio Semmelweis sabía realmente qué producía la fiebre: era algún tipo de contaminación entre mujeres o con los cadáveres de las autopsias, pero aún no se sabía cuál. Lo que sí se sabía era que hacía falta la desinfección usando cloro o sosa, y la solución era bastante fácil.

De hecho la cosa resultaba, mirando hacia atrás, evidente. La *anatomía patológica*, y con ella las autopsias, llegaron al *Allgemeines Krankenhaus* en 1824. La obligación de lavarse las manos con antisépticos ordenada por Semmelweis se produjo en 1847. Observa el número de muertes por fiebres puerperales a lo largo del tiempo, comparada además con la del hospital de Dublín -en el que no había departamento de anatomía patológica- en un gráfico basado en el realizado por el propio Semmelweis para intentar convencer a la comunidad médica del origen de la fiebre:

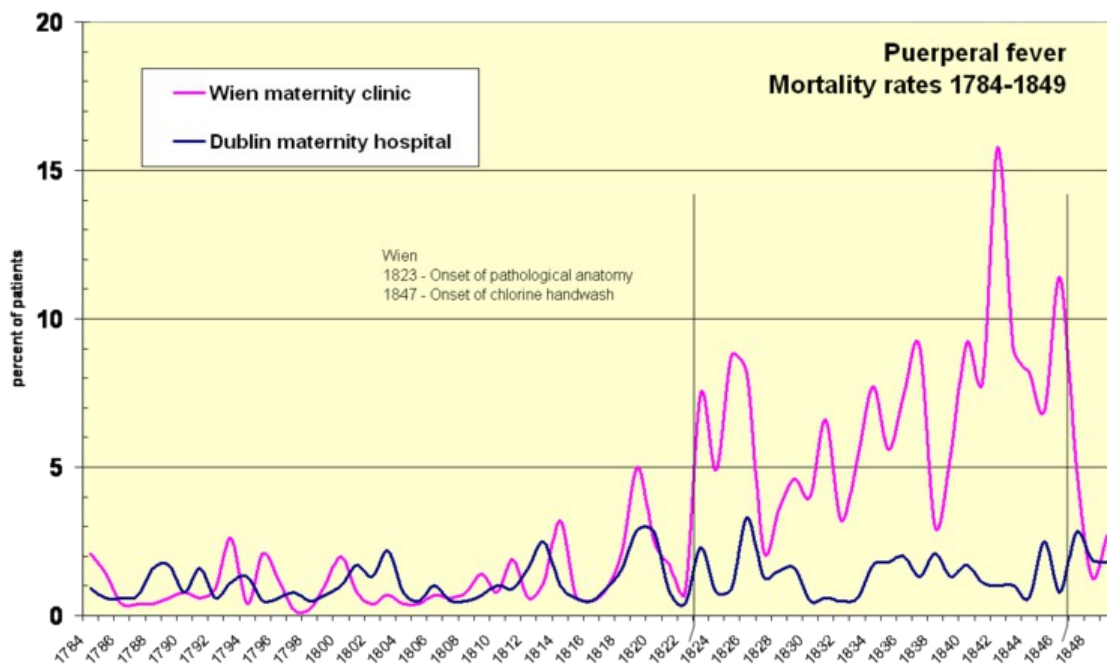


Gráfico comparativo entre Dublín y Viena, con las dos fechas relevantes marcadas (dominio público).

La primera fecha importante es 1823, cuando arranca en Viena la anatomía patológica y, con ella, las autopsias. La segunda es el momento en 1847 en el que los médicos del hospital vienés empiezan a lavarse con cloro antes de atender a cada paciente de ginecología. Más claro, agua. Aunque Semmelweis no sabía qué era el responsable de la infección, sí sabía que existía algún tipo de *corrupción* que era transmisible del cadáver a la madre, o entre una madre y otra. Sigue siendo una teoría de contagio, pero puedes ver que el nivel del análisis empírico es ya fruto de una ciencia madura, y la solución estaba muy clara.

Sin embargo hubo una reacción enormemente negativa, entre muchos médicos, a aceptar las conclusiones de Semmelweis - ¡los médicos eran limpios, y era insultante que los acusara de ser los portadores de una enfermedad por no lavarse! De hecho en muchos lugares siguieron muriendo mujeres por esta causa a pe-

sar de que el austríaco había dejado muy clara la solución. Parecía que, simplemente, no estábamos listos para aceptarlo.

Hoy en día, por cierto, conocemos perfectamente al responsable de aquellas muertes: es una bacteria llamada *Streptococcus pyogenes*, un estreptococo que causa muchas otras infecciones. Aunque parezca mentira sigue muriendo gente por su causa, a pesar de la penicilina y otros antibióticos, pero al menos en los partos los ginecólogos ya no contagian a las madres tras realizar autopsias. Más vale tarde que nunca.



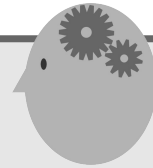
Streptococcus pyogenes, el causante de las fiebres puerperales (dominio público).

Y, como digo, todo fue tarde: nos resistíamos a aceptar un modo diferente de pensar al anterior. Esto se haría evidente unos años más tarde cuando el cólera hizo estragos en Londres a pesar de las admoniciones de Michael Faraday para no soltar aguas fecales en el Támesis. Pero de eso y del descubrimiento, por fin, del origen microbiano de las enfermedades, hablaremos en la segunda parte del artículo. ¡Hasta entonces!

[Matemáticas I] Ecuaciones polinómicas

En los primeros dos capítulos de este bloque matemático introductorio tras la presentación hemos hablado sobre variables y expresiones algebraicas y el concepto de ecuación. Hoy ahondaremos en el estudio práctico de las ecuaciones polinómicas y, cuando terminemos, espero que seas capaz de atacar muchas ecuaciones de una incógnita que se te pongan por delante.

Pero antes, como siempre, veamos las soluciones al desafío del final del capítulo anterior.



Solución al desafío 3 - Ecuaciones simples

El desafío nos pedía encontrar las soluciones a varias ecuaciones que no requerían otra cosa que operaciones algebraicas sencillas. Iré poco a poco en cada una para que, si has metido la zarpa, veas dónde y te acostumbres al modo de pensar necesario para llegar al final:

La primera ecuación:

$$-p-2=p+8$$

Sumamos p en ambos miembros:

$$-p-2+p=p+8+p$$

$$-2=2p+8$$

Restamos 8 en ambos miembros:

$$-2-8=2p+8-8$$

$$-10=2p$$

Finalmente, dividimos ambos miembros entre 2:

$$-10/2=2p/2$$

$$-5=p$$

Luego la solución era $p=-5$. Para comprobarlo podemos volver a la ecuación original (hazlo y verás que se cumple).

La segunda ecuación:

$$2h-1=h+12$$

Multiplicamos por 2 en ambos miembros:

$$2 \cdot (2h-1)=2h+12$$

$$4h-2=h+1$$

Restamos h en ambos miembros:

$$4h-2-h=h+1-h$$

$$3h-2=1$$

Sumamos 2 en ambos miembros:

$$3h-2+2=1+2$$

$$3h=3$$

Dividimos entre 3 en ambos miembros:

$$3h/3=3/3$$

$$h=1$$

Luego la solución era $h=1$, y puedes volver a la ecuación original y sustituir $h=1$ para ver que se cumple.

La tercera ecuación:

$$y^2=y/4$$

Dividimos entre y en ambos miembros:

$$y^2/y = y/4y$$

$$y = 1/4$$

Luego la solución es $y = 1/4$... pero hemos eliminado una solución válida al dividir entre la propia variable y , la solución $y = 0$. Por lo tanto la ecuación tiene dos soluciones, $y = 0$ y también $y = 1/4$, que puedes sustituir para comprobar que se cumple la original.

La cuarta ecuación:

$$6(w-2) = 13w - (w+12)$$

En primer lugar operamos en ambos miembros:

$$6w - 12 = 13w - w - 12$$

$$6w - 12 = 12w - 12$$

Sumando 12 en ambos miembros,

$$6w - 12 + 12 = 12w - 12 + 12$$

$$6w = 12w$$

Dividimos ambos miembros entre w :

$$6w/w=12w/w$$

$$6=12$$

¡Imposible! ¿Quiere esto decir que la ecuación no tiene soluciones? No, porque al dividir entre w hemos eliminado la solución $w=0$. Por lo tanto debemos incluirla, y ya que no hemos llegado a ninguna otra solución válida, $w=0$ es la única solución de la ecuación. Algo parecido hubiésemos obtenido si en vez de dividir entre w hubiéramos restado en ambos miembros $6w$.

$$6w-6w=12w-6w$$

$$0=6w$$

Dividiendo entre 6,

$$0=6w/6$$

$$0=w$$

La quinta ecuación:

$$(x-1)/4+x=x/6-4$$

Nos libramos de los denominadores si multiplicamos ambos miembros por 12 (el mínimo común múltiplo de 4 y 6):

$$12(x-1)/4+12x=12(x/6)-48$$

$$3(x-1)+12x=2x-48$$

$$3x-3+12x=2x-48$$

$$15x-3=2x-48$$

Restamos $2x$ a ambos miembros:

$$15x-3-2x=2x-48-2x$$

$$13x-3=-48$$

Sumamos 3 a ambos:

$$13x-3+3=-48+3$$

$$13x=-45$$

Dividiendo entre 13 ambos miembros llegamos a la solución:

$$13x/13=-45/13$$

$$x=-45/13$$

Finalmente, la sexta ecuación:

$$2/q - 4/q + q/q^2 = 0$$

Multiplicamos ambos miembros por q :

$$2q/q - 4q/q + q^2/q^2 = 0q$$

$$2 - 4 + 1 = 0$$

$$-1 = 0$$

Luego en este caso no hay solución alguna (infinito es una solución, pero a este nivel ni siquiera la consideramos), ya que no hemos hecho nada que elimine soluciones numéricas pero llegamos a un imposible independiente del valor de q . La ecuación era irresoluble (y el profesor un malvado).

Ecuaciones polinómicas

Ya vimos en el capítulo anterior que hay infinitas ecuaciones posibles, con multitud de variables en ellas. Sin embargo es muy común encontrarse con ecuaciones en las que sólo desconocemos una de ellas, y a menudo es sencillo resolverlas, de modo que creo que merece la pena detenernos un capítulo en ellas para estudiar cómo resolver las más comunes de todas: las **ecuaciones polinómicas**. Si te estás preguntando por qué dedicamos un capítulo a esto, paciencia que luego hablamos del porqué.

Todas las ecuaciones que te pedí que resolvieras en el desafío del capítulo anterior eran ecuaciones de una sola incógnita y, además, polinómicas. Una ecuación polinómica es aquella en la que las expresiones algebraicas de ambos miembros son *polinomios* de una variable. Esto puede llevarte -especialmente si hace años que lo estudiaste- a la pregunta evidente de *¿qué diablos es un polinomio?*

Un polinomio es una expresión algebraica de una variable (por ejemplo, z) de este tipo:

$$a+bz+cz^2+dz^3+ez^4+\dots$$

Donde a, b, c, d, e, \dots son números. Dicho de otro modo, un polinomio es una suma de números multiplicados por potencias de la variable de exponente entero (1, 2, 3...), hasta donde nos dé la gana. Aquí tienes dos ejemplos:

$$j^2-j^3+4j-6$$

$$x^5-2$$

Esto, en cambio, no son polinomios:

$$\sqrt{w}-2$$

$$a^{1/3}+a$$

El nombre es una mezcla de griego y latín: *poli* (muchos) y *nomen* (nombre). Creo que el origen en álgebra es a partir de *binomio* (dos nombres o términos), ya que en matemáticas a partir del XVII se empezó a utilizar *nomen* en el sentido de *término* en una expresión. Así, $a+2$ es un binomio, ya que consta de dos términos, mientras que b^2+b-2 es un *trinomio*. Al final se acabó usando *polinomio* en general, para cualquier número de términos, siempre que éstos fueran potencias enteras de una misma variable.

El **grado** de un polinomio es el máximo exponente de la variable. En el primero de los dos polinomios válidos de antes el grado es 3 y en el segundo es 5. Aunque suene un poco tonto, $r+2$ es un polinomio de grado 1, y 54 es un polinomio de grado 0. El grado de una ecuación polinómica es el grado del mayor de los polinomios de ambos miembros.

¿Por qué las ecuaciones polinómicas son suficientemente importantes como para que les dediquemos una entrada? Hay dos razones. En primer lugar son extraordinariamente comunes en muchas situaciones de la

vida real; en segundo lugar hay, hasta cierto punto, modos muy sencillos de resolverlas. Esto significa que las recompensas de su estudio son muy grandes comparadas con el esfuerzo que requiere estudiarlas -aunque requiere esfuerzo, desde luego-.

Aquí tienes varios ejemplos de ecuaciones polinómicas:

$$t^3-2=t+1$$

$$w^2-2=0$$

$$x=3-1$$

$$a^4+a-2a^3-1=a+2a^2+4a^9$$

La primera es de grado 3, la segunda de grado 2, la tercera de grado 1 y la última de grado 9.

Número de soluciones de una ecuación polinómica

Las malas noticias son que no siempre es posible resolver fácilmente las ecuaciones polinómicas: hoy veremos cómo hacerlo hasta cierto grado, y cómo atacar grados mayores. Las buenas noticias son que, al menos, sí es posible saber cuántos valores de la incógnita resuelven la ecuación como mucho.

La forma en la que suele hablarse de esto es como del *número de soluciones*, un nombre no demasiado afortunado porque ya vimos que solución hay una sola: el conjunto de valores que resuelve la ecuación. Así, la solución de $x^2=1$ lo constituyen dos valores de x , -1 y 1. Sin embargo muy a menudo se dice que esa ecuación *tiene dos soluciones*, y todos nos entendemos: quiere decir que la solución es un conjunto de dos valores.

Esto de saber el número de soluciones puede no parecer muy útil -lo que queremos saber son los valores en sí, no *cuántos* hay-, pero supone una gran ventaja: si sabemos que la ecuación no tiene más de tres soluciones y hemos encontrado ya tres, ¡podemos dejar de buscar, porque la hemos resuelto!

Hay más buenas noticias: es muy fácil saber cuántas soluciones diferentes hay, como máximo, para una ecuación polinómica. Basta con fijarse en el *grado de la ecuación*.

Dicho mal y pronto, una ecuación polinómica de grado n tiene n soluciones diferentes *como mucho*. Por ejemplo, una ecuación de tercer grado tiene como mucho tres soluciones distintas, y una de grado 9 no tiene más de nueve soluciones. Esto significa, como podrás imaginar, que cuanto mayor es el grado más difícil es resolver la ecuación. Al fin y al cabo, una de primer grado sólo requiere encontrar un valor de la incógnita que la resuelva, mientras que una de grado doce es una pesadilla de tomo y lomo.

¿Por qué?



No puedo expresar cuánto odio no poder demostrarte *por qué* lo que acabamos de ver es cierto. No me gusta nada dar dogmas sin demostración. El problema es que la demostración requiere cosas que no hemos visto y que están bastante por encima del nivel que quiero dar en este bloque. La cosa es, además, bastante irónica.

La razón de que se cumpla esta relación entre el grado de la ecuación y el número de soluciones es el **teorema fundamental del álgebra** [http://es.wikipedia.org/wiki/Teorema_fundamental_del_álgebra], que tiene que ver con el número de raíces de un polinomio de coeficientes complejos.

Lo irónico del asunto es que este teorema no es tan fundamental para el álgebra moderna como cuando recibió el nombre y, además, *su demostración no puede hacerse utilizando únicamente el álgebra*. Por eso no lo demostramos aquí y por esa razón este cuadro de texto de disculpa. Si te interesa el asunto puedes visitar el enlace y leer sobre ello. Te prometo que, cuando tengamos suficiente equipaje detrás, lo demostraremos en un bloque superior (siempre que me lo recuerde alguien cuando llegue el momento, claro).

Recorramos los diferentes grados de una ecuación polinómica, por lo tanto, para que tengas herramientas para poder resolverlas una tras otra sin la menor piedad. ¿Preparado? Pues empecemos con las más simples de todas, las de primer grado.

Ecuaciones lineales

El tipo más simple de ecuación polinómica es el que resolvimos casi siempre en el capítulo anterior: la ecuación de grado 1, por ejemplo:

$$2i-1=i+2$$

Estas ecuaciones reciben el nombre de **ecuaciones lineales**, y para resolverlas no hay más que emplear las *técnicas comunes* que describimos entonces. Se trata del tipo de ecuación que hemos resuelto desde hace más tiempo históricamente hablando, ya que no tienen ningún misterio.

Ecuaciones cuadráticas

El segundo tipo más simple lo constituyen las ecuaciones de grado 2, también llamadas **ecuaciones cuadráticas**. En ellas, como es lógico, los polinomios de ambos miembros son de segundo grado, como por ejemplo en ésta:

$$3b^2-4b+6=2+b^2$$

Lo habitual -luego veremos por qué es muy útil- es convertir este tipo de ecuaciones en una igualdad entre un polinomio de segundo grado y 0. Por ejemplo, en la de arriba podemos restar $2+b^2$ a ambos miembros y obtener:

$$2b^2-4b+4=0$$

De ahí que la forma en la que se escribe la **ecuación cuadrática en forma general** suele ser:

$$ax^2+bx+c=0$$

Naturalmente supondremos que $a \neq 0$, ya que de otro modo la ecuación ya no sería de segundo sino de primer grado.

Las ecuaciones de segundo grado pueden resolverse de un modo muy simple, ya que existe una fórmula que proporciona directamente las posibles soluciones de la ecuación -que son, como mucho, dos soluciones diferentes-. El primero en obtener esta fórmula de manera clara y concreta fue un matemático y astrónomo indio, Brahmagupta, alrededor del año 628.

Emulemos a Brahmagupta, por tanto, y demostremos que existe una expresión que nos proporciona directamente las soluciones (aunque nuestra demostración no será la misma que la suya, espero que te quede bien clara). Sé que no hace falta demostrar esta fórmula para utilizarla, pero también creo que siempre es mejor no usar la magia: es conveniente saber la razón de las cosas, aunque no sea algo que utilices constantemente.

Partimos de la ecuación general, $ax^2+bx+c=0$. Recuerda que podemos hacer lo que nos dé la gana a ambos miembros de la ecuación mientras que sea una ecuación equivalente -se mantenga el equilibrio entre miembros-.

Así, podemos multiplicar ambos miembros por $4a$:

$$4a(ax^2+bx+c)=4a \cdot 0$$

$$4a^2x^2+4abx+4ac=0$$

Sumamos en ambos miembros b^2-4ac :

$$4a^2x^2+4abx+4ac+b^2-4ac=0+b^2-4ac$$

$$4a^2x^2+4abx+b^2=b^2-4ac$$

La razón de hacer esto es que, si observas el miembro de la izquierda, es un cuadrado perfecto: $(u+v)^2 = u^2 + v^2 + 2uv$. Fíjate en ese $4a^2x^2 + 4abx + b^2$ y podrás reconocer el primer término al cuadrado ($4a^2x^2$), el segundo al cuadrado (b^2) y el doble del producto del primero por el segundo término ($4abx$).

Dicho de otro modo, $4a^2x^2 + 4abx + b^2$ es lo mismo que $(2ax + b)^2$. Así, podemos escribir la ecuación completa como

$$(2ax + b)^2 = b^2 - 4ac$$

Hacemos la raíz cuadrada en cada miembro y ya casi hemos terminado:

$$2ax + b = \pm \sqrt{b^2 - 4ac}$$

El signo \pm se debe a que la raíz cuadrada puede ser igualmente positiva que negativa, como hemos dicho antes al hablar de posibles soluciones.

Sólo nos quedan por hacer dos cosas para despejar x . En primer lugar restamos b en ambos miembros:

$$2ax + b - b = -b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}$$

$$2ax = -b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}$$

Y para terminar dividimos ambos miembros entre $2a$ para obtener x :

$$\frac{2ax}{2a} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Hemos obtenido lo que se denomina **fórmula cuadrática**, que es probablemente la expresión que te enseñaron en el colegio -y, si tuviste más suerte que yo, incluso te demostraron para no tener que creer en la magia-. Naturalmente, insisto: siempre que te encuentres con una ecuación de segundo grado puedes simplemente utilizar la fórmula de Brahmagupta sin más.

Así, si nos encontramos con

$$k^2 - 2k + 1 = 0$$

Podemos usar la expresión para resolver la ecuación. En este caso $a=1$, $b=-2$ y $c=1$, de modo que $k=1$. Como siempre, puedes sustituir en la ecuación original para comprobarlo. Puedes ver que en este caso hay un único valor de k que resuelve la ecuación; lo bueno de la fórmula cuadrática es que no tenemos que volvernos locos intentando resolver la ecuación, sino que basta con aplicarla.

Ecuaciones de grado superior

Las cosas se vuelven más arduas cuando el grado de la ecuación es mayor que dos. Es fácil saber cuántas soluciones como máximo puede tener la ecuación, pero salvo en casos bastante fáciles es una pesadilla hallarlas, pues no siempre hay un método analítico general que obtenga las soluciones como en el caso de la ecuación cuadrática. Las buenas noticias son que las ecuaciones lineales y las cuadráticas constituyen un tanto por ciento enorme de las que puedes encontrarte en niveles básicos de Física -que es la razón de que estemos estudiando esto-. Pero *¿qué hacer cuando nos encontramos con horrores del tipo $h^7 - 3h^3 + h^2 - 4 = 6h^5$?*

Si estudiaste esto en el colegio, probablemente te explicaron el método de Ruffini-Horner para encontrar soluciones a ecuaciones de grado arbitrariamente alto, y te pasabas el tiempo probando posibles soluciones hasta encontrar las buenas. Sin embargo, en este bloque yo no voy a explicarte ese método (si no sabes de lo que hablo, ni te preocupes del asunto y puedes saltarte el siguiente párrafo).

Tengo dos razones para no hacerlo. La primera es que tardaríamos bastante y no serías más eficaz ni más rápido que con el método que sí voy a explicar. La segunda es que en el colegio -al menos a mí- nunca nos demostraron el *porqué* ni de las soluciones que probábamos, ni del sistema en sí. Para que yo explicara las razones y demostrase todo aquí me haría falta mucho espacio y tiempo... pero ¿para qué? En su momento

tenía sentido usar esos métodos, pero hoy en día no hace demasiada falta. Existen métodos numéricos que permiten obtener las soluciones muy fácilmente si sabes programar un poco, o utilizar herramientas ya programadas.

Sí voy a hablar de un caso particular, una vez más por la relación recompensa-esfuerzo. Si has comprendido cómo resolver ecuaciones cuadráticas, existe otro tipo de ecuaciones de grado superior que no supondrán ningún problema para ti: las ecuaciones de grado 4 que son reducibles, con una pequeña sustitución, a ecuaciones cuadráticas.

Se trata de ecuaciones de grado 4 en las que no existen potencias de exponente impar, por ejemplo $4g^4 - 3g^2 = 7$. Aunque nominalmente la ecuación sea de grado cuatro, es posible hacer un simple cambio de variable para convertirlas en algo mucho más simple. Si definimos una nueva variable $x = g^2$, entonces podemos escribir la ecuación anterior como $4x^2 - 3x = 7$, que es una simple ecuación cuadrática. Una vez resuelta y con los valores de x en la mano sólo tenemos que volver a la definición $x = g^2$ y calcular los valores posibles de g . Un ejemplo será la manera más fácil de verlo, precisamente con la ecuación que acabo de mencionar.

Si resolvemos con la ecuación cuadrática $4x^2 - 3x - 7 = 0$ obtenemos los valores de la solución -te dejo que lo hagas para practicar-, $x = -1$ y $x = 7/4$. A continuación podemos ir a la definición y tendremos dos ecuaciones: $-1 = g^2$ y $7/4 = g^2$. La primera no tiene soluciones reales, ya que un número real al cuadrado no puede ser negativo, pero la segunda sí: $g = \pm\sqrt{7}/2$.

Como digo, es raro que en bloques que se basen en éste -es decir, Física preuniversitaria- te encuentres con una ecuación de grado siete. ¿Cuál es el método que te recomiendo, si eso sucede? Muy sencillo: el análisis numérico hecho por un programa de ordenador. Es absurdo, en el año en el que vivimos, ir probando posibles valores de la solución. Es mucho más eficaz aplicar el análisis numérico; idealmente tras entender cómo se programa, pero no es éste el momento ni el lugar. Hasta entonces mi recomendación es bien clara - *Wolfram Alpha*. Si introduces la ecuación de grado 7 de arriba puedes ver la solución en un momento.

Ecuaciones cúbicas



Aunque aquí no le dediquemos tiempo, al igual que Brahmagupta obtuvo la fórmula general que re-

suelve de manera analítica las ecuaciones cuadráticas, existe también una fórmula que proporciona las soluciones de la ecuación cúbica, es decir, la ecuación polinómica de grado 3. En un principio obtuvimos fórmulas para casos "fáciles", como aquellos en los que no hay término al cuadrado, pero finalmente obtuvimos una general.

¿Por qué no hablamos aquí de ella? Porque, una vez más, demostrarla requiere conocimiento que aún no hemos descrito aquí, como por ejemplo el concepto de número complejo. Sin embargo, si tienes interés, puedes leer sobre ella [aquí](http://en.wikipedia.org/wiki/Cubic_function#General_formula_for_roots) [http://en.wikipedia.org/wiki/Cubic_function#General_formula_for_roots].

Es muy posible, que algún siglo de estos, tras algún bloque de programación orientada a las ciencias, hablemos sobre métodos de análisis numérico y resolvamos ecuaciones como ésta con programas hechos por nosotros mismos, pero por ahora puedes apoyarte en las muletas de Wolfram Alpha para salir de atolladeros de grado catorce. No te avergüences de ello.

Armado con las herramientas que llevamos hasta ahora, en el siguiente capítulo del bloque atacaremos otro problema algebraico muy común en Física: los *sistemas de ecuaciones*. Pero, antes de eso, recapitemos.

Ideas clave

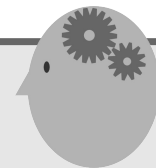
Éste ha sido un capítulo más bien práctico, pero espero que te hayan quedado bien claras las ideas fundamentales:

- Un **polinomio** es una suma de productos de números por potencias enteras de una variable.
- Una **ecuación polinómica** es aquella en la que los dos miembros son polinomios de la misma variable.
- El **grado** de una ecuación polinómica es el máximo exponente de la incógnita.

- Una ecuación polinómica tiene un **número máximo de soluciones** igual a su grado.
- Una **ecuación lineal** es una ecuación polinómica de grado 1, y es posible resolverla usando técnicas de despeje elementales.
- Una **ecuación cuadrática** es una ecuación polinómica de grado 2, y es posible resolverla usando la ecuación cuadrática.
- Las **ecuaciones de grado superior**, salvo casos especiales, deben ser resueltas usando métodos numéricos.

Antes de seguir...

Hoy voy a dejarte algunas ecuaciones para resolver, ¡sorpresa! Hay un poco de todo: algunas lineales, otras cuadráticas y algunas de grado superior. Como siempre, os pido que no pongáis respuestas en comentarios, ya que podéis aguar la fiesta a los demás. En el siguiente capítulo del bloque daremos las soluciones a cada una.



Desafío 4 - Ecuaciones polinómicas

Obtén las soluciones (si las hay, claro) de las siguientes ecuaciones polinómicas. Si puedes, hazlo tú mismo con papel y lápiz, pero si no, ya sabes. Si eres programador y tienes arrestos y tiempo, puedes incluso hacer algún programilla que vaya probando cosas -sin necesidad de saber métodos numéricos muy avanzados- y seguro que llegas a alguna parte.

1. $-j+2j^2+j^3=0$

2. $4u^2-u=2$

3. $6a^4 - 2 + a^3 + 2a^2 - a^3 = 2$

4. $b^5 - 4b^4 + 2b^3 + b^2 - 6b = -2$

Posible origen extrasolar del ADN humano

STOP

Artículo del día de los Inocentes

Como sabéis los viejos del lugar, cada año el día 28 publicamos un artículo absolutamente absurdo como inocentada. Desde luego, todo lo que vas a leer es mentira, pero sólo pretende hacerte esbozar una sonrisa.

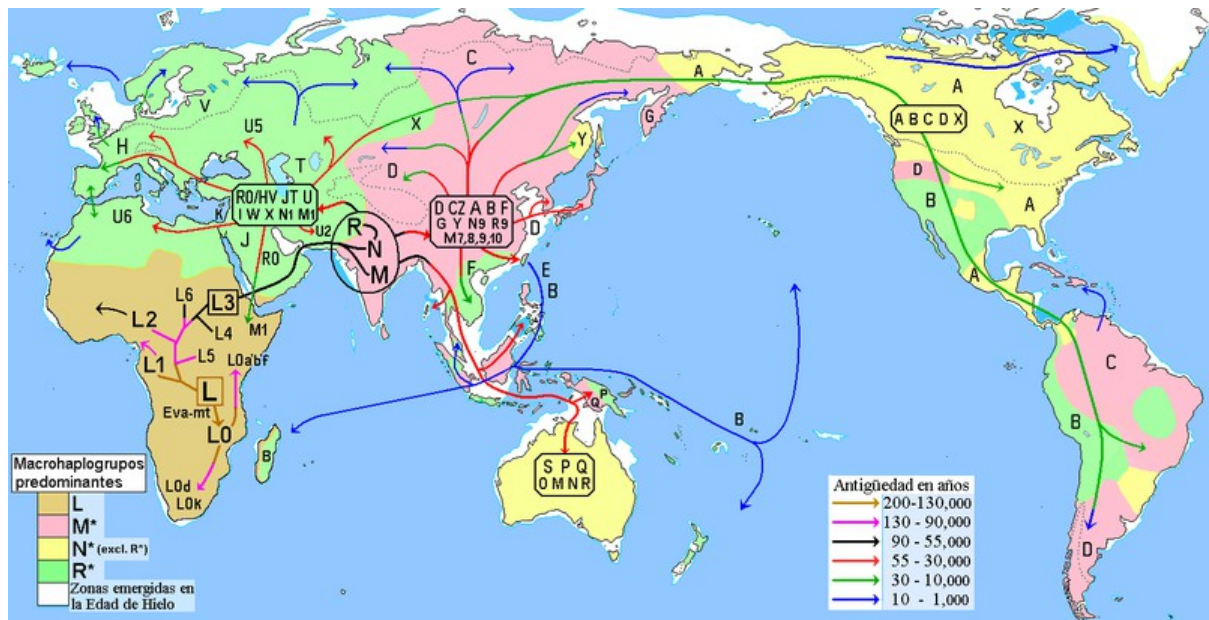
Como sabéis no tengo tiempo de hablar de muchas noticias; de vez en cuando lo hago en las *"pinceladas"*, pero últimamente no tengo tiempo ni de eso. Sin embargo me he topado con algo que no puedo dejar de compartir con vosotros: la noticia de que, de acuerdo con un estudio de la Universidad de Berkeley, existen indicios bastante sólidos de que **el origen de parte del ADN humano es extrasolar**. ¡Ojo, que no digo *extraterrestre*, sino *extrasolar*! Sí, la cosa es bien gorda e imagino que estarás arqueando la ceja lo mismo que hice yo cuando leí la noticia. De modo que vamos por partes.

Antes de que sigas leyendo, creo que no hace falta que te diga que la pseudociencia me repatea las costillas y que estoy de oír hablar de "astronautas ancestrales" e idioteces similares hasta las narices. Pero esto no es una sarta de sandeces, sino algo publicado por una universidad de prestigio y con argumentos razonables: paciencia y vamos con ellos, pero no pierdas la confianza en mí porque el artículo empiece hablando de algo que suena absurdo.

Es posible que sepas que hay estructuras intracelulares que tienen su propio ADN, como sucede con las mitocondrias. A diferencia del ADN nuclear, que proviene de padre y madre y cambia bastante, por eso, de generación en generación, el **ADN mitocondrial** que se encuentra en esos orgánulos celulares siempre proviene del óvulo. Por eso, seas hombre o mujer, el ADN de tus mitocondrias es probablemente idéntico

al de tu madre. También por la misma razón, si eres hombre ese ADN mitocondrial no pasará a tus descendientes, mientras que si eres mujer sí.

Esto ha hecho que el ADN mitocondrial se haya empleado para desentrañar nuestro pasado, ya que cambia muy poco a lo largo del tiempo. En 2009 se estimó una fecha aproximada para la "*Eva mitocondrial*", el ancestro femenino común más antiguo de todos los seres humanos actuales, de alrededor de 200 000 a. C.



Propagación del ADN de la "*Eva mitocondrial*" a partir de 200 000 a. C. (Maulucioni [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Migraciones_humanas_en_haplogrupos_mitocondriales.PNG]/ CC Attribution-Sharealike 3.0 License [<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>]).

Sin embargo, del mismo modo que el ADN mitocondrial pasa sólo a través de la madre a la siguiente generación -por eso la *Eva mitocondrial*-, el ADN del cromosoma Y lo hace sólo a través del padre, ya que es precisamente el que determina que el sexo sea masculino. Por lo tanto, si eres varón -es decir, tienes un cromosoma Y- ese cromosoma proviene de tu padre. Una vez más, esto significa que es posible trazar hacia el pasado una línea de conexión - pero en este caso paterna. En otras palabras, igual que hay una *Eva mitocondrial* existe un *Adán cromosómico*, es decir, un ascendiente masculino común a todos los seres humanos actuales.

Pero las estimaciones dan una fecha para el Adán cromosómico de alrededor de hace 50 000 años, es decir, unos **150 000 años posterior a la Eva mitocondrial**. Y esto es rarísimo. O lo era hasta hace unos

meses, cuando un equipo de biólogos de Berkeley descubrió algo muy extraño pero relacionado con esta divergencia de fechas.

Al examinar varios estratos de un yacimiento arqueológico del cuerno de África datados entre 80 000 y 40 000 años atrás, muchos de ellos con restos óseos que aún contienen ADN, los científicos detectaron un **cambio brusco y radical** en el ADN del estrato de 50 000 años de antigüedad. En palabras de Evelyn Brugher, una de las biólogas responsables del estudio,

[...] no era algo explicable por mutaciones, ya que requeriría de varias decenas de miles de mutaciones en el espacio de una generación.

El ADN anterior y posterior a esa fecha difiere en un 4%, un porcentaje que puede parecer pequeño pero es descomunal. Para que te hagas una idea, es bastante *más grande que la diferencia existente entre el ADN de un chimpancé y el de un ser humano actual*. Pero esto no es todo.

Aunque ese 4% de diferencia está repartido entre la mayor parte de los cromosomas de las muestras, el cromosoma alterado más profundamente no es otro que *el cromosoma Y*. Estoy seguro de que te esperas lo que viene ahora: **el ADN post-salto es esencialmente el ADN del Adán cromosómico**, nuestro ancestro masculino común, tuyo, mío y de todos los seres humanos actuales.

Además resulta que la información contenida en el nuevo cromosoma Y no es irrelevante; quiero decir que no se refiere al color del pelo y otras zarandajas. El contenido genético modificado del cromosoma Y tras el salto se corresponde únicamente al comportamiento: menores niveles de testosterona y por tanto menor agresividad, mayor implicación en el cuidado de las crías y la capacidad de asociación en grupo, mayor estabilidad en las relaciones...

Pero, como digo casi todos los cromosomas tienen un cambio bastante radical, *y tampoco en ellos se trata de algo aleatorio*. El nuevo ADN general se corresponde con un fenotipo de frente más alta, mayor capacidad cerebral, modificaciones en la estructura laríngea que posibilitan el habla... imagino que, como a mí, se te están poniendo los pelos como escarpías. Los seres humanos posteriores a esta incursión de ADN -luego veremos por qué hablo de "incursión"- son radicalmente diferentes de los anteriores. Es más: es posible que no tenga sentido hablar de seres humanos "anteriores", porque estos cambios *son los que probablemente nos convirtieron en lo que somos hoy*.

El término "incursión" no es mío, sino de Michael Arneson, otro miembro del equipo de Berkeley:

El genotipo post-salto es tan diferente del anterior que no es posible que sea una modificación de él. Tiene sentido hablar de una incursión de ADN externo, inexistente en las generaciones anteriores. ADN "de fuera".

Pero *¿ADN de dónde?* Y, aunque sepamos cuándo, *¿cómo y por qué se produjo el salto?* Aquí es donde las cosas se vuelven realmente extrañas. Dado que es el contenido genético de ese cromosoma Y el responsable del cambio, el equipo de Berkeley ha realizado todo tipo de pruebas para intentar encontrar diferencias -más allá de las genéticas- entre el ADN posterior y el anterior a ese momento crucial.

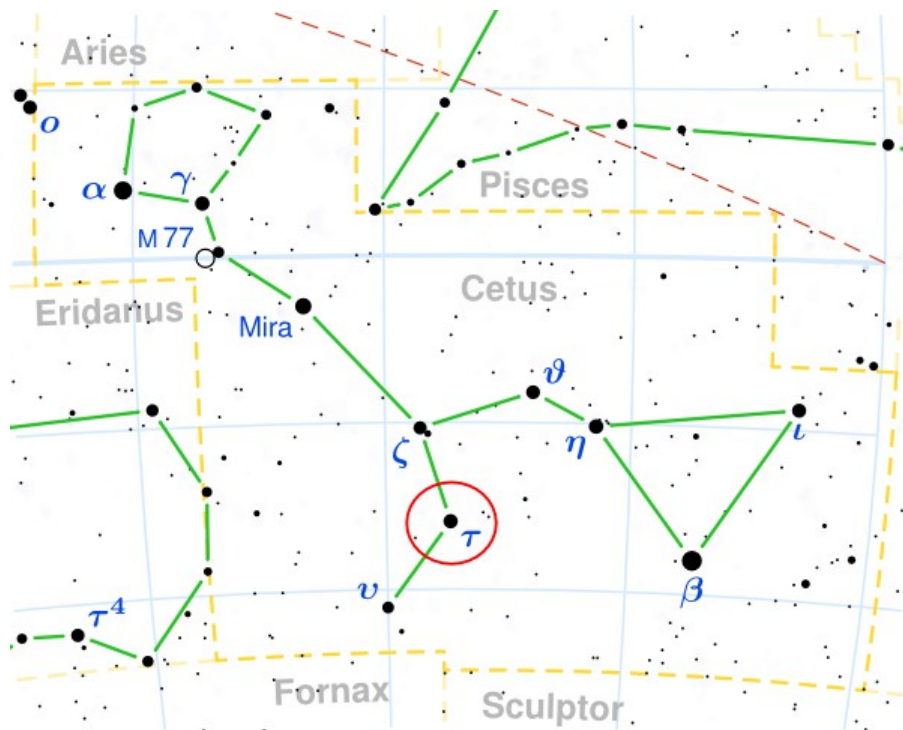
La composición molecular es esencialmente la misma, aunque el orden de las bases nitrogenadas sea naturalmente distinto. Sin embargo el departamento de Física Aplicada de Berkeley se topó con una sorpresa: al analizar la **composición isotópica** de los átomos presentes en la muestra vieron que era muy diferente de la anterior a la incursión. Por ejemplo, en los estratos más antiguos el ADN contiene alrededor de un 93,3% de potasio-39, uno de los isótopos estables del potasio, y sólo un 6,7% de potasio-41, otro isótopo estable menos común. Esto no es sorprendente porque es la composición isotópica del potasio terrestre.

Sin embargo, el ADN inmediatamente posterior al "salto" contiene un 75,4% de potasio-39 y un 14,3% de potasio-41, una diferencia descomunal. Curiosamente, según se avanza tras el salto la composición isotópica se parece de nuevo mucho más a la "normal". Pero, dado que no existe lugar en la Tierra en el que los porcentajes de abundancia de los isótopos del potasio -ni otros átomos, porque sucede con varios-, *¿qué pasó hace 50 000 años?*

Al examinar tablas de abundancia isotópica, supongo que a los científicos se les quedaría la boca abierta como a ti y a mí: existe un lugar en el que la composición del potasio es 75,3% de potasio-39 y 14,4% de potasio-41. Pero ese lugar no está en la Tierra, ni siquiera en otro planeta de nuestro Sistema Solar. Ese lugar es **Tau Ceti**, una estrella G8 V -es decir, amarilla como nuestro Sol y de un tamaño muy similar-. ¿Casualidad? No, probablemente no.

La conclusión de Arneson es bastante clara:

Hace unos 50 000 años se produjo una inyección de ADN externo en el ADN pre-humano. La composición isotópica de esa muestra indica que tiene un origen extrasolar y muy probablemente proviene de Tau Ceti, en la constelación de la Ballena y a unos 12 años-luz de nosotros.



Posición de Tau Ceti en la constelación de la Ballena (Torsten Bronger [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cetus_constellation_map.svg] / CC Attribution-Sharealike 3.0 License [<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>]).

Ahora bien, las siguientes preguntas son obvias: ¿cómo es posible que ADN de origen extrasolar sea compatible con el humano? ¿Cómo es posible que las modificaciones sean exactamente las que nos proporcionaron una inteligencia muy superior a la anterior, el lenguaje y la capacidad de convertirnos en quienes somos hoy? ¿Se trata de algo fortuito?

Una vez más, la respuesta parece ser que no. El Adán cromosómico de hace 50 milenios no puede haber sido fortuito, ni es razonable suponer que fuera un extraterrestre cuyo ADN fuese milagrosamente similar al nuestro - todo tiene pinta de ser algo artificial y planeado. De acuerdo con la doctora Brugher,

Parece necesario aceptar el hecho de que no somos producto únicamente de la evolución. Hemos sido diseñados por una inteligencia no humana.

Pero ¿con qué propósito? ¿Significa esto que hay vida inteligente en Tau Ceti, o simplemente que el material genético fue elaborado allí? ¿Qué tipo de vida sería responsable de una intromisión así en la evolución de otra especie?

No tenemos las respuestas, pero hasta entonces te invito a que leas el artículo de Arneson y Brughner y te formes tu propia opinión. Puedes encontrarlo [aquí](http://es.wikipedia.org/wiki/Día_de_los_Santos_Inocentes) [http://es.wikipedia.org/wiki/Día_de_los_Santos_Inocentes].