

Batallamos por  
conquistar la salud  
frente a su ataque.

# ¿Funcionan las vacunas?

*Ignacio López-Goñi y Oihana Iturbide*



NE X T —  
D O O R ...  
P U B L I S H E R S

**Colección**  
**El Café Cajal**



**«La causa de  
muerte depende  
mucho del sitio  
en el que vivas».**

# ¿Cuáles son los ingredientes de una vacuna?

Para entender cómo funcionan las vacunas, antes tenemos que ver de qué están hechas. Las vacunas no son un brebaje mágico. Tienen unos pocos ingredientes, cada uno con una función concreta.

## Los antígenos

El componente más importante en una vacuna es lo que se denomina antígeno. El *antígeno* es lo que podríamos denominar el componente «activo» de la vacuna. Es algo que se parece al patógeno o microbio que causa la enfermedad y que entrena a nuestro sistema inmune, nuestras defensas, para que desarrolle las herramientas necesarias para protegernos frente a él. Hay dos tipos principales de vacunas, según el material con que están hechos los antígenos: las vacunas «vivas» o atenuadas y las vacunas «muertas».

Las vacunas vivas emplean como antígeno el microorganismo vivo pero debilitado o «atenuado». El microorganismo puede multiplicarse y estimular nuestras defensas pero no causa la enfermedad. Para preparar este tipo de vacunas, primero se aísla el patógeno y luego se «domestica» en el laboratorio hasta conseguir que sea incapaz de desencadenar la enfermedad pero sí pueda activar el sistema inmune de forma duradera contra la versión completa o virulenta del patógeno. Esta atenuación del patógeno a veces se consigue empleando microorganismos aislados de animales, por ejemplo el virus vacuna de la viruela de las vacas o la vacuna BCG de la tuberculosis, que es una cepa de *Mycobacterium bovis*,

también de origen bovino. Otras veces se consigue a base de multiplicar durante mucho tiempo el microorganismo en el laboratorio e ir acumulando mutaciones o defectos que reducen su capacidad patogénica. Por ejemplo, la vacuna oral contra la polio de Sabin se obtuvo tras varios cultivos consecutivos del virus en células de mono, y las vacunas contra el sarampión, la parotiditis o la rubeola se atenuaron a través de múltiples pases de los virus por cultivos celulares. Para obtener la vacuna BCG atenuada de la tuberculosis, el *Mycobacterium bovis* se multiplicó en el laboratorio doscientas treinta veces seguidas durante trece años. Estas vacunas vivas atenuadas tienen la ventaja de que normalmente activan nuestras defensas de forma duradera, por lo que no suele ser necesario repetir muchas veces la dosis. Además, muchas de las vacunas de este tipo se pueden administrar de forma oral, por la boca, sin necesidad de inyecciones, lo que facilita la administración y evita otras posibles infecciones. La fabricación de vacunas vivas suele ser más barata que las vacunas muertas que veremos a continuación. Desgraciadamente, al ser microorganismos vivos son menos estables y necesitan refrigeración para su almacenaje: hay que guardarlas en una nevera. Esto dificulta las campañas de vacunación en países donde la refrigeración puede ser un problema: ¡hay zonas del planeta donde ni siquiera es fácil encontrar un enchufe! Además, con muy baja probabilidad como veremos más adelante, pueden revertir a la forma virulenta y causar la enfermedad. Son también más peligrosas en pacientes inmunocomprometidos o con las defensas debilitadas, como enfermos de cáncer, personas trasplantadas o con VIH, etc. Las vacunas de la polio de Sabin, del sarampión, la rubeola, parotiditis, fiebre amarilla, varicela, herpes o tuberculosis son ejemplos de vacunas vivas.

Por el contrario, las vacunas muertas emplean el microorganismo entero muerto (por tratamiento químico, radiación o calor) o partes o fragmentos del patógeno. Su fabricación suele ser más costosa que la de las vacunas vivas atenuadas. Pero son más seguras: como el microorganismo está muerto o es una parte de él, nunca pueden causar la enfermedad.

Pueden provocar algunos síntomas leves, un poco de fiebre, enrojecimiento, fatiga, dolor muscular... No son síntomas de la enfermedad en sí, sino más bien de que el sistema inmune se está activando. Además, son más estables y no requieren refrigeración. Sin embargo, activan nuestras defensas de forma parcial, por lo que es frecuente que se requieran varias dosis de recuerdo, que además suelen administrarse como inyecciones. Las vacunas de la polio de Salk, la rabia, hepatitis A, cólera, gripe o papiloma son ejemplos de vacunas muertas o de subunidades del patógeno. A veces, algunos patógenos producen toxinas, auténticos venenos, que son los que nos hacen enfermar. Contra estos patógenos las vacunas se preparan aislando la toxina e inactivándola. Las vacunas contra la difteria o el tétanos son de este tipo. Son un ejemplo también de vacunas muertas o inactivas. Pero el término *vacuna inactiva* no nos debe llevar a confusión, lo que está inactivo es el patógeno o la toxina, estas vacunas son «muy activas» y excelentes para protegernos contra la enfermedad.

## Los adyuvantes

En algunos casos, sobre todo con las vacunas muertas, el antígeno se acompaña de otro componente que se denomina adyuvante. Los *adyuvantes* son sustancias que aumentan la respuesta inmune de la vacuna, hacen que la vacuna estimule con mayor intensidad nuestras defensas y mejoran su eficacia. De esta forma, se puede disminuir la cantidad de antígeno que se añade a la vacuna. Las sales de aluminio, por ejemplo, se usan como adyuvantes en las vacunas desde los años setenta. Luego seguiremos hablando de las vacunas y el aluminio.

## Los estabilizantes

Las vacunas también pueden contener estabilizantes, sustancias que no son tóxicas para nosotros pero que aseguran que la vacuna sigue siendo efectiva y segura hasta que se use. Algunos de estos estabilizantes

## ¿Funcionan las vacunas?

pueden ser antibióticos o muy bajas dosis de formaldehído que evitan que se multipliquen bacterias en la vacuna (nuestro propio cuerpo es capaz de producir y metabolizar pequeñas cantidades de formaldehído). El timerosal fue empleado como estabilizante desde los años treinta hasta 1999, cuando se retiró de casi todas las vacunas. El timerosal contiene cantidades mínimas de mercurio. Aunque hay estudios científicos, que veremos más adelante, que demuestran que el timerosal es seguro en las cantidades que se empleaban en las vacunas, ya no se usa debido a la desconfianza que ha causado y para evitar que la gente decida no vacunarse. Otros estabilizantes como azúcares o aminoácidos, como la glicina, se añaden para proteger la vacuna de posibles daños como la luz, el calor o la humedad, que podrían inactivarla. Estos azúcares y aminoácidos son totalmente inocuos para nosotros, muchos son parte de nuestra dieta diaria.

## Otros materiales traza y fluidos

Las vacunas también pueden contener cantidades traza o mínimas, casi indetectables, de algunos compuestos residuales que quedan después del proceso de fabricación. Por ejemplo, para la preparación de los antígenos algunos patógenos se cultivan en huevos de gallina, por lo que no es raro encontrar cantidades mínimas de proteínas de huevo en esas vacunas. Algunas personas son alérgicas a las proteínas del huevo y la vacuna así preparada podría inducirles una reacción alérgica. Si eres alérgico al huevo, habrá algunas vacunas que no podrás ponerte. Por eso, estos compuestos residuales suelen especificarse entre la lista de ingredientes de la vacuna. Además, muchas vacunas que se administran por inyección o inhalación se preparan resuspendidas en líquido, normalmente una mezcla de agua y sal denominada suero salino.



## ¿Cómo funciona una vacuna?: el efecto «rebaño»

Nuestras defensas, nuestro sistema inmune, son capaces de reconocer los microorganismos patógenos y crear una serie de herramientas que los atacan y los eliminan. Además, la próxima vez que te encuentres con el mismo patógeno, tu sistema inmune lo recordará y luchará contra él mucho más rápido. Una vacuna es una sustancia que enseña a tu sistema inmune a reconocer un microbio patógeno y te protege contra la enfermedad concreta que este causa. La vacuna hace que tu sistema inmune crea que has sido infectado por un patógeno y desarrolla todas las herramientas para combatirlo antes de que aparezca. Por eso, las vacunas preparan el sistema inmune con antelación, de forma que cuando el patógeno aparece, tu sistema inmune se activa rápidamente, lo mata o impide que nos enferme. En ese sentido podríamos decir que las vacunas son un sistema natural de «educar» o «entrenar» a tu propio sistema inmune para que luche contra las infecciones. Algunas enfermedades infecciosas no tienen un tratamiento efectivo y las vacunas son la única opción para luchar contra ellas.

Las vacunas no solo nos protegen a nosotros mismos, sino que evitan que el patógeno se extienda entre la población, evitan por tanto las epidemias. Muchas enfermedades infecciosas se transmiten de una persona a otra, de forma que cada individuo es como el eslabón de una cadena. Cada vacunación rompe uno de esos eslabones y ayuda a proteger a los que no se han vacunado. Si tú no te vacunas, puedes poner en riesgo a los que están a tu alrededor, especialmente a los más débiles: los niños, los ancianos y los enfermos. Tu protección por tanto depende de otros. Con

## ¿Funcionan las vacunas?

la vacunación se protege la comunidad, cuanto mayor sea la proporción de personas vacunadas y protegidas contra una infección, menor será la probabilidad de contagio entre un individuo infectado y otro sano, menor será la posibilidad de una epidemia. De ahí la importancia de mantener una cobertura elevada (de vacunar a un gran número de personas) con el fin de conseguir el máximo efecto beneficioso para todos. Por tanto, de que tú te vacunes depende la salud de otros.

Esta protección indirecta se conoce como inmunidad de grupo o «efecto rebaño» (Figura 1). Esta inmunidad de grupo se consigue más fácilmente si la infección solo afecta a las personas y no a los animales, si la transmisión principal es persona a persona y si la inmunidad que produce la vacunación es sólida y duradera. Es especialmente importante en los más jóvenes y en los mayores. Normalmente los niños y las personas mayores son los más vulnerables, los que más fácilmente pueden contraer una enfermedad infecciosa, porque su sistema inmune está o menos desarrollado e inmaduro o más debilitado. Su protección por tanto depende de otros; cuanta más gente esté vacunada a su alrededor, menos posibilidades tendrán de infectarse. Si eliges no vacunarte, pones en riesgo la salud de otros. Incluso si no tienes síntomas, puedes actuar como portador de la enfermedad e infectar a otros. Por eso, el personal médico que atiende a personas mayores, niños pequeños o personas enfermas con el sistema inmune debilitado son los primeros que deben vacunarse.

Las vacunas por tanto nos protegen de las enfermedades y evitan las infecciones. No curan la enfermedad sino que la previenen. Por eso se dice que las vacunas son preventivas o profilácticas, porque impiden que la persona sana enferme. Sin embargo, hay otras vacunas que se denominan terapéuticas o de tratamiento, que no evitan o previenen que enfermemos, sino que se administran cuando ya estamos infectados o enfermos y que tienen cierto efecto curativo. Estas vacunas terapéuticas se están ensayando para reforzar las defensas y tratar algunas enfermedades como el sida, el cáncer o la diabetes.

¿Cómo funciona una vacuna?: el efecto «rebaño»

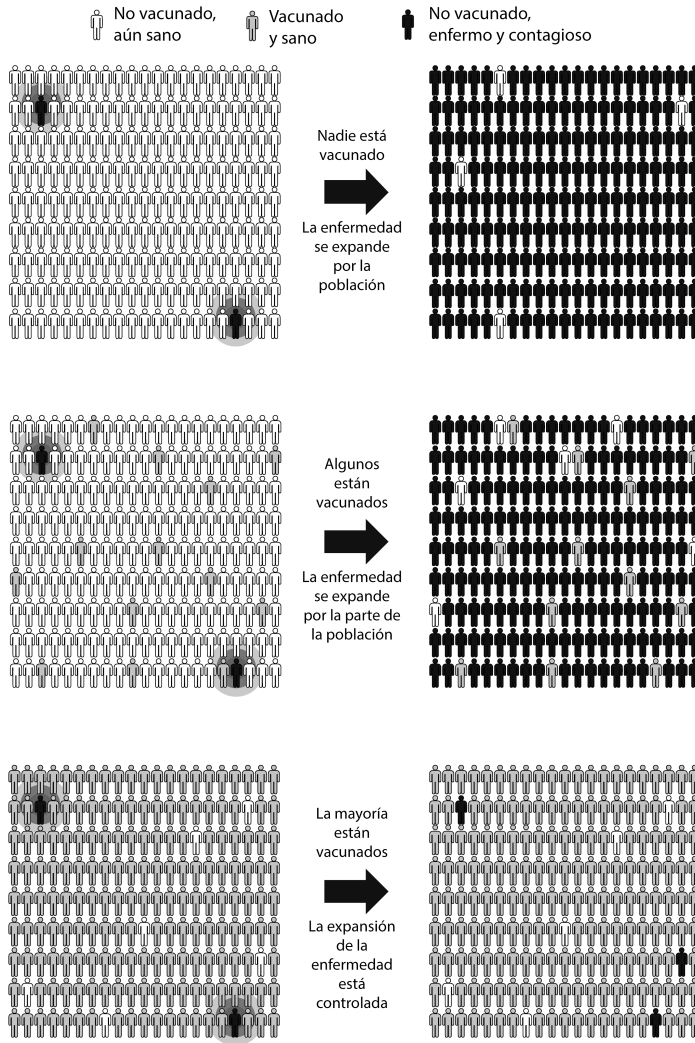


Figura 1. La inmunidad de grupo es la protección de una población ante una infección debido a la presencia de un elevado porcentaje de individuos inmunes. En la parte superior se muestra el caso en el que algunas personas están enfermas y el resto están sanos pero no vacunados, y la enfermedad se extiende entre la población. En el centro se muestra la misma población en la que un pequeño número de individuos han sido vacunados. En la parte inferior, la mayoría de la población está vacunada, lo que impide que la enfermedad se propague, incluso en las personas no vacunadas.

**«Si eliges no  
vacunarte, pones  
en riesgo la salud  
de otros».**

# **Poliomielitis: ¿la segunda enfermedad humana erradicada del planeta?**

La poliomiélitis es otra enfermedad infecciosa que ha causado epidemias desde hace siglos. Inscripciones en tumbas egipcias en las que se muestra a un sacerdote con una pierna atrofiada, típico de la poliomiélitis, evidencian que esta enfermedad tiene una larga historia entre nosotros.

Está causada por un virus que invade el sistema nervioso y puede paralizar los músculos de la respiración y causar la muerte, además de deformidades y efectos invalidantes. La polio puede afectar a personas de cualquier edad, pero es mucho más grave en niños menores de cinco años. Si buscas en internet imágenes con la palabra «polio», verás impactantes fotografías de las lesiones que el virus causa en las extremidades, sobre todo en niños. También podrás ver imágenes de los años cuarenta de pabellones de hospitales llenos de niños dentro de pulmones de acero, un sistema de ventilación mecánica que se empleaba para forzar la respiración cuando la persona perdía el control de sus músculos torácicos debido a la polio.

La polio se transmite de persona a persona. Cuando un niño se infecta, el virus entra en el cuerpo por la boca y se multiplica en el intestino. Luego se expulsa al ambiente a través de las heces y puede extenderse rápidamente entre la población, sobre todo en situaciones de falta de higiene. La polio, por tanto, se puede transmitir a través de los alimentos y las aguas contaminadas con heces. La mayoría de las personas infectadas no presentan síntomas, pero son portadoras del virus y lo pueden extender entre la población. Si se detecta un caso de polio grave, es evidencia

de que en realidad hay una epidemia. Una de cada doscientas infecciones acaba en parálisis irreversible de las piernas, porque el virus puede destruir las células nerviosas de esos músculos. En los casos más graves afecta a los músculos respiratorios y dificulta la respiración. En realidad

**«A muchos niños no se les permitía incluso salir a jugar fuera de casa por miedo a la polio».**

no sabemos a ciencia cierta por qué algunas personas son más susceptibles y acaban desarrollando una poliomielitis paralizante y otras no.

La poliomielitis ha sido una de las enfermedades más extendidas en el siglo xx hasta la aparición del sida. Es una enfermedad para la que no existe cura, solo tratamientos para aliviar los síntomas. Lo que sí existen son vacunas para prevenir la infección. Varias dosis de la vacuna de la

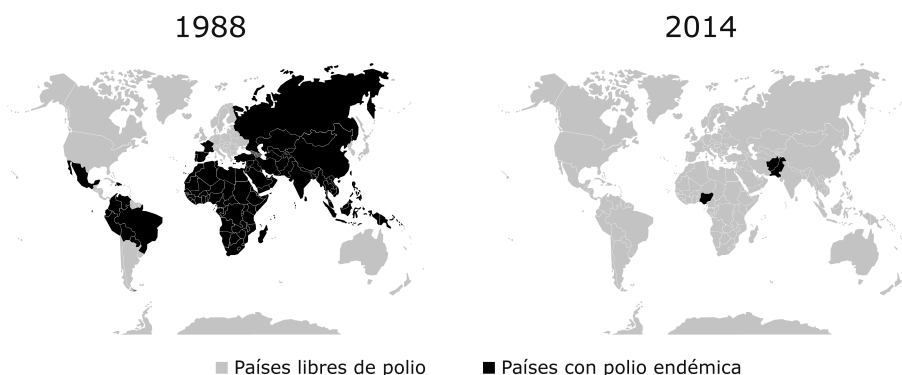
polio pueden llegar a proteger a un niño de por vida.

Entre los años cuarenta y cincuenta hubo un importante brote de polio en Estados Unidos. En 1952 se llegó al punto máximo con cincuenta y ocho mil casos de polio. En aquella época había auténtico terror a esta enfermedad debido también a su «misteriosa» incidencia estacional, entre julio y octubre. A muchos niños incluso no se les permitía salir a jugar fuera de casa por miedo a la polio.

Existen dos vacunas contra la polio, la vacuna desarrollada por Jonas Salk (1914-1995) con virus muertos inactivados con formaldehído y la desarrollada por Albert Sabin (1906-1993) con virus vivos atenuados y debilitados. La vacuna de Salk se empezó a usar en Estados Unidos en 1955. Al ser virus muertos, es una vacuna segura pero tiene el inconveniente de que debe inyectarse por vía intramuscular: hay que pinchar a los niños con una aguja. Entre 1955 y 1962 se distribuyeron en Estados Unidos cuatrocientos millones de dosis de esta vacuna de la polio inactivada, que lograron un brusco descenso en la incidencia de la enfermedad.

Poco después se aprobó la vacuna de Sabin, que se administraba por boca en forma de gotas, por lo que se conoce como la vacuna de la polio oral. Las ventajas de esta vacuna son varias. Por una parte, la vía de administración, que no requiere inyecciones: es mucho más fácil, cómodo y seguro dar unas gotas por la boca que un pinchazo. Pero además, esta vacuna es más barata que la inactiva (0,1 euros la dosis de vacuna oral frente a unos 2 euros la inactiva) e induce una protección más duradera, protege más tiempo.

Desde entonces se han vacunado millones de niños en el mundo entero. Estas campañas masivas de vacunación han conseguido que actualmente solo haya tres países con polio endémica: Nigeria, Afganistán y Pakistán (Figura 2). Recientemente, India ha informado de que ya lleva tres años consecutivos sin ningún caso de polio, por lo que la Organización Mundial de la Salud lo ha declarado ya país libre de polio. El número de casos de polio en el mundo ha disminuido de trescientos cincuenta mil en 1988 a solo treinta y siete en 2016. Si se sigue a este ritmo, la polio será la segunda enfermedad infecciosa humana erradicada del planeta. El objetivo de la Iniciativa Global para la Erradicación de la Polio es llegar a erradicarla en los próximos años. Y todo gracias a las vacunas.



*Figura 2. Situación de la polio en el mundo en 1988 y en 2014. Fuente: Organización Mundial de la Salud.*

## ¿Funcionan las vacunas?

No obstante, la mayor dificultad que hay hoy en día para conseguir este objetivo son los grupos fanáticos fundamentalistas, como veremos más adelante. En los últimos años, en Pakistán y Afganistán varios cooperantes sanitarios que participaban en las campañas de vacunación han sido asesinados por los talibanes. En Nigeria se difundió el bulo de que la vacunación contra la polio era en realidad una estrategia de Estados Unidos para cometer un genocidio y acabar con la población musulmana nigeriana. Muchas veces los microbios no son los más peligrosos.