



¿Cómo funciona?

¿Vacunas comestibles? El futuro de la vacunación

Edible vaccines? The future of immunization

Francisca Villanueva-Flores^{1*}
Igor Garcia-Atutxa²

Resumen

¿Te imaginas vacunarte simplemente comiendo una ensalada? Las vacunas comestibles serán pronto una realidad, donde papas, tomates o lechugas contengan proteínas de virus, las mismas que tu sistema inmunológico necesita reconocer para protegerte. Así, al consumir estas verduras, podrías activar tus defensas sin necesidad de agujas. Esta tecnología revolucionaria no solo simplificaría la vacunación, sino que eliminaría la necesidad de refrigeración, lo cual es crucial para llegar a zonas remotas. Aunque existen retos que superar, cada avance nos acerca más a un futuro donde la prevención de enfermedades podría ser tan fácil como comer.

Palabras clave: Vacunas, plantas, inmunidad.

Summary

Can you imagine getting vaccinated just by eating a salad? Edible vaccines will soon become a reality, with potatoes, tomatoes, or lettuce producing viral proteins, the very ones your immune system needs to recognize to protect you. By consuming these vegetables, you could activate your defenses without the need for needles. This revolutionary technology would not only simplify vaccination but also eliminate the need for refrigeration, which is crucial for reaching remote areas. Although there are still challenges to overcome, each advance brings us closer to a future where disease prevention could be as simple as eating.

Keywords: Vaccines, plants, immunity.

¹Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA), Unidad Morelos del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Boulevard de la Tecnología No.1036, Xochitepec, Morelos, México.

²Universidad Católica de Murcia (UCAM). Av. de los Jerónimos, 135, 30107, Murcia, España.

*Autor para la correspondencia:
fvillanuevaf@ipn.mx

Introducción

En las últimas décadas hemos sido testigos de grandes hitos de la biotecnología. Hoy en día estamos a punto de dar un paso agigantado pues estamos cerca de lograr que ciertas vacunas se conviertan en algo tan común como una ensalada (Figura 1). Estas vacunas comestibles podrían ser capaces de protegernos contra diversas enfermedades al ser ingeridas. Esta innovadora tecnología permite a las plantas producir proteínas ajenas a ellas, que funcionan como los antígenos que conforman las vacunas. Pero ¿qué son los antígenos? Los antígenos son “señales” que llevan algunos invasores, como los virus y las bacterias, y que nuestro cuerpo reconoce como extrañas. Cuando el sistema inmunológico detecta estas señales, éste responde para defendernos, como si activara una “alarma” para identificar y atacar a estos intrusos y protegernos de enfermedades.

¿Cómo funciona una vacuna comestible?

Al consumir una verdura modificada, no solo estaríamos disfrutando una deliciosa comida, sino también estaríamos activando nuestro sistema inmunológico. ¿Cómo? Pues estas



Figura 1. Caricatura de una ensalada con vegetales modificados, que puedan funcionar como vacunas. Imagen generada con ChatGTP4.

plantas han sido diseñadas para producir proteínas de la capa externa de los virus, pero sin el material genético. Estas proteínas, al entrar en tu cuerpo, alertan a nuestro sistema inmunológico, preparándolo para defendernos cuando nos enfrentemos con el virus. Es como entrenar a nuestro cuerpo para reconocer al enemigo y pelear con cierta ventaja contra él, ¡sin las agujas de por medio!

Esto hoy ya es una realidad en Canadá. En 2022 se aprobó Covifenz, la primera vacuna contra el COVID-19 creada a partir de plantas, desarrollada por la empresa biotecnológica Medicago. En lugar de usar métodos tradicionales, esta innovadora vacuna utiliza unas partículas similares a virus (VLPs, por sus siglas en inglés Virus-like Particles) de la planta de tabaco como “fábrica biológica”, las cuales carecen de material genético por lo que no son infecciosas. Estas VLPs activan el sistema inmunológico de manera segura y eficaz, generando anticuerpos listos para defendernos del COVID-19. La tecnología vegetal detrás del ejemplo del Covifenz permite producir la vacuna de forma

rápida y en grandes cantidades, ofreciendo una solución innovadora para enfrentar futuras crisis sanitarias. Con Covifenz, estamos viendo cómo las plantas pueden abrir una nueva era en la medicina, transformándose en fábricas de vacunas de próxima generación, lo cual es un hito en la medicina basada en plantas [1].

El proceso detrás de la vacuna comestible

¿Cómo es posible que una planta produzca una vacuna? Aquí es donde la ingeniería genética se convierte en protagonista, tanto que parece magia. Pero no es magia, ¡es ciencia! El proceso es fascinante y se muestra en la

Figura 2. Primero, se identifica una proteína del virus que provocará la respuesta inmune, por ejemplo, la famosa proteína “espiga” del virus SARS-CoV-2, responsable de causar la COVID-19. Luego, se extrae el gen que codifica la proteína espiga y se inserta en un plásmido especial como si fuera una “copia genética”. El plásmido se introduce en una bacteria llamada *Agrobacterium*, la cual de manera natural es capaz de infectar a las plantas y transferirle su ADN que contiene el gen de interés. Cuando la planta adquiere el gen, ésta lo reconoce como propio y empieza a producir la proteína espiga en sus tejidos, ya sea en sus hojas, frutos o raíces. De esta forma, cuando nosotros ingerimos el vegetal, estaremos comiendo el antígeno y nuestro cuerpo generará moléculas de defensa llamadas anticuerpos. De tal manera que en el caso en que nos llegáramos a exponer al virus SARS-CoV-2 nuestro cuerpo, ya fue previamente entrenado para reconocerlo y combatirlo, y ya no lo toma de sorpresa.

Ventajas de las vacunas comestibles

¿Te imaginas recibir una vacuna sin agujas

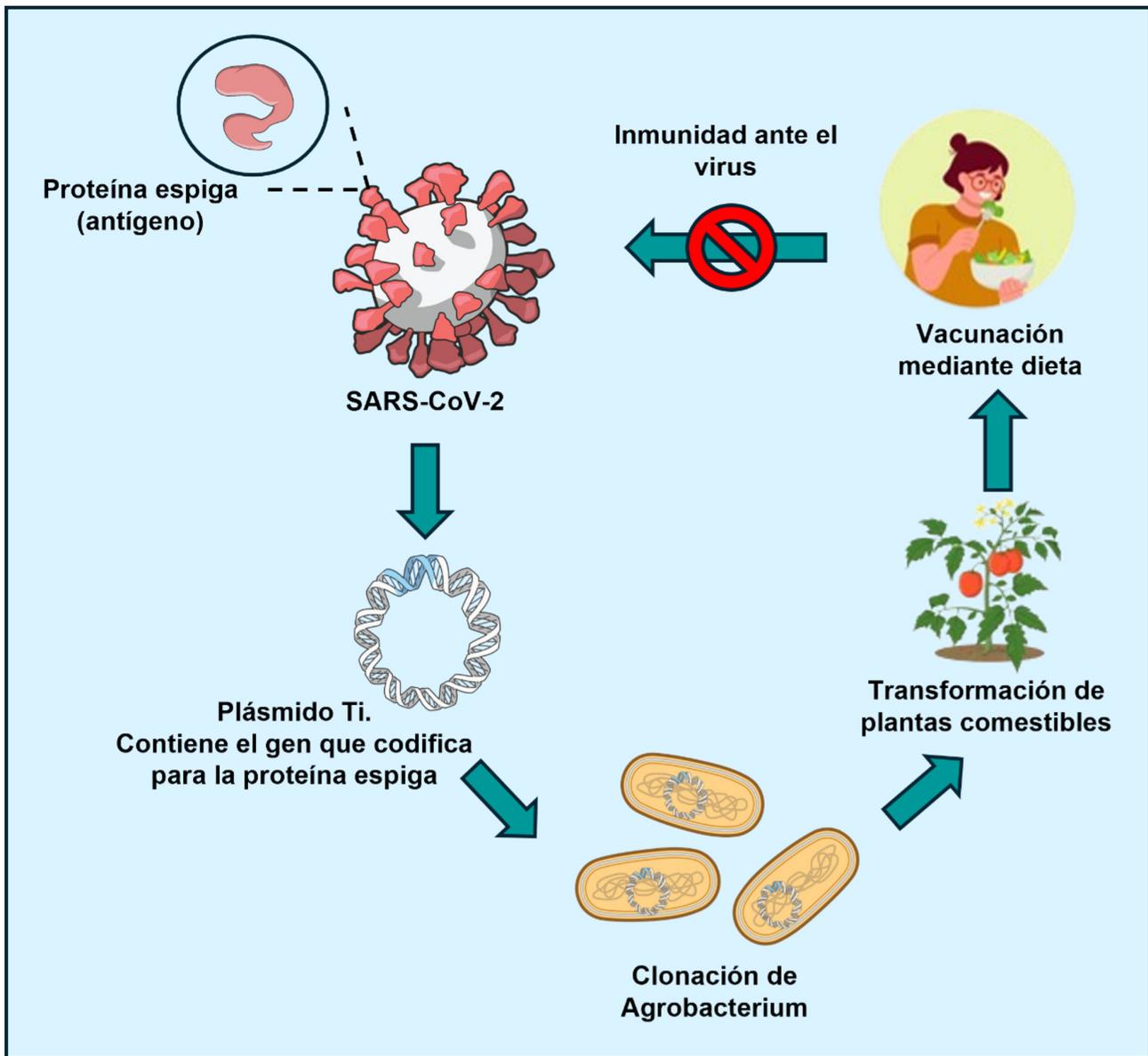


Figura 2. Proceso de producción de una vacuna comestible. Elaboración propia.

y simplemente comiendo una fruta o verdura? Se terminarían los llantos en los consultorios médicos o en las campañas de vacunación en las escuelas. ¡Solo habría que lidiar con que los pequeños efectivamente se comieran todas sus verduras! Las vacunas comestibles podrían hacer esto realidad, y sus ventajas son enormes pues a diferencia de las vacunas tradicionales, estas se pueden cultivar en plantas, lo que las hace más baratas y fáciles de producir (y transportar) en grandes cantidades. Además, no necesitan refrigeración, por lo que pueden llegar a lugares remotos y con pocos recursos médicos, haciendo posible la vacunación en áreas con acceso limitado. La difícil distribución y almacenamiento de las vacunas contra

SARS-CoV-2 fue un gran desafío y en la pandemia ocasionó que millones de dosis se perdieran y la enfermedad se propagara aún más. Si las vacunas fueran comestibles, su administración sería mucho más simple y no habría necesidad de hospitales, agujas ni de personal de salud aplicando las inyecciones.

Retos por superar para tener vacunas comestibles

Y la pregunta del millón es: si son tan buenas, ¿cómo es que no existen vacunas comestibles actualmente? La respuesta a esto no es simple, pues si bien las vacunas producidas en vegetales presentan enormes oportuni-

des, también enfrentan grandes desafíos. Los alimentos transgénicos han generado mucha controversia y no son aceptados por todos los consumidores. Su uso y regulación dependen de las leyes de cada país. Por otra parte, las plantas producen pequeñas cantidades de antígenos, lo que podría reducir su efectividad. Además, una vez ingeridos, estos antígenos deben sobrevivir al proceso digestivo, algo que no siempre es fácil, ya que pueden descomponerse antes de llegar a activar nuestras defensas.

Otro reto es ¿cómo controlar la dosis? Las vacunas tradicionales, cuando se envasan, tienen la dosis exacta que ha sido estudiada cuidadosamente para generar la respuesta deseada. Una dosis menor que la requerida, puede conducir a no tener la defensa adecuada. Una dosis mayor, puede ocasionar una sobre estimulación del sistema inmune, lo cual podría llegar a ser peligroso. Administrar las vacunas vegetales, puede ser riesgoso al no haber un control sobre la cantidad de vegetal que las personas podrían consumir, por que debería controlarse su uso y distribución.

Aunque estos obstáculos son grandes, la investigación avanza rápidamente. Con cada paso, nos acercamos más a un futuro donde protegernos contra enfermedades podría ser tan simple como disfrutar de una ensalada, un agua fresca, un jugo o como más te guste.

El futuro de la medicina preventiva: ¡Comer para estar saludable!

La ciencia avanza a pasos agigantados, y los ensayos con vacunas comestibles abren nuevas puertas en la prevención de enfermedades. La Tabla 1 ilustra ejemplos prometedores de plantas que se investigan actualmente para producir vacunas comestibles dirigidas a diversas enfermedades. Estas incluyen el cólera, la hepatitis B, el COVID-19, la rabia y la fiebre aftosa (dirigida al ganado), utilizando como “fábricas” vegetales a la papa, lechuga, tabaco, espinaca y alfalfa, respectivamente. Cada proyecto se encuentra en diferentes fases de desarrollo: la mayoría está en etapa de ensayos en ratones, donde los científicos evalúan tanto la seguridad como la efectividad de cada vacuna vegetal.

Otras plantas como plátanos, tomates y arroz también se están estudiando como posibles vehículos para estas vacunas. Estos avances podrían llevarnos a un futuro donde la inmunización sea tan accesible y cotidiana como el consumo de alimentos básicos, proporcionando una solución revolucionaria en el cuidado de la salud.

Vacunas vegetales: Salud al alcance de todos

Las vacunas basadas en plantas abren una puerta poderosa hacia el acceso universal a la salud. Su fácil cultivo y distribución permiten que la inmunización llegue a comunidades remotas y a poblaciones que, por diversas razones, tienen acceso limitado a los servicios médicos. A diferencia de las vacunas convencionales, las vacunas vegetales no necesitan

Tabla 1. Compuestos mayoritarios presentes en los aceites esenciales de las plantas.

Vacuna contra la enfermedad	Planta en la que se produce	Estado de desarrollo	Referencia
Cólera	Papa	Ensayos en ratones	[2]
Hepatitis B	Lechuga	Ensayos en ratones	[3]
COVID-19	Tabaco	Aprobado en Canadá (Covifez)	[1]
Rabia	Espinaca	Ensayos en ratones	[4]
Fiebre aftosa (ganado)	Alfalfa	Ensayos en ratones	[5]

refrigeración ni infraestructura compleja para su transporte, lo que reduce enormemente los costos y facilita su disponibilidad en cualquier rincón del planeta.

La salud es un derecho humano fundamental, y estas vacunas vegetales representan un avance hacia un mundo en el que cada persona, sin importar su ubicación o situación económica, pueda protegerse de enfermedades. Este enfoque permite llevar la medicina preventiva a todos los rincones y promoviendo un futuro más justo y saludable.

Conclusiones

Gracias a los avances en biotecnología, la idea de vacunarnos simplemente comiendo frutas o verduras está cada vez más cerca de ser realidad. Aunque las vacunas comestibles aún enfrentan obstáculos, cada nuevo descubrimiento abre la puerta a un futuro en el que cuidar de nuestra salud podría ser tan sencillo y cotidiano como elegir nuestros alimentos favoritos. Por un momento imaginemos un mundo donde cada bocado no solo nos nutre, sino que también refuerza nuestras defensas naturales, convirtiendo a los alimentos en nuestros aliados más poderosos en la prevención de enfermedades. Como dijo Hipócrates, padre de la medicina: “Que tu medicina sea tu alimento y que tu alimento sea tu medicina”. Este futuro no solo sería accesible y sin agujas, sino que llevaría inmunización a lugares remotos y de bajos recursos, revolucionando la salud a nivel global. Cada avance en este campo nos acerca a un mañana más saludable, donde nuestra dieta podría protegernos de amenazas invisibles con tanta naturalidad como ahora nos nutre. **iBIO**

Agradecimientos

El presente texto es un manuscrito original, donde una inteligencia artificial generativa como ChatGPT4 fue utilizada solo como corrector de estilo en ciertos párrafos del texto y la generación de una de las imágenes como se declara en el cuerpo del artículo.

Referencias

- [1] Hager, K. J., Pérez Marc, G., Gobeil, P., Diaz, R. S., Heizer, G., Llapur, C., Makarkov, A. I., Vasconcellos, E., Pillet, S., Riera, F., Saxena, P., Geller Wolff, P., Bhutada, K., Wallace, G., Aazami, H., Jones, C. E., Polack, F. P., Ferrara, L., Atkins, J., ... Ward, B. J. (2022). Efficacy and Safety of a Recombinant Plant-Based Adjuvanted Covid-19 Vaccine. *New England Journal of Medicine*, 386(22), 2084–2096. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2201300>
- [2] Arakawa, T., Chong, D. K. X., & Langridge, W. H. R. (1998). Efficacy of a food plant-based oral cholera toxin B subunit vaccine. *Nature Biotechnology*, 16(3), 292–297. <https://doi.org/10.1038/nbt0398-292>
- [3] Pniewski, T., Kapusta, J., Bociąg, P., Wojciechowicz, J., Kostrzak, A., Gdula, M., Fedorowicz-Strońska, O., Wójcik, P., Otta, H., Samardakiewicz, S., Wolko, B., & Płucienniczak, A. (2011). Low-dose oral immunization with lyophilized tissue of herbicide-resistant lettuce expressing hepatitis B surface antigen for prototype plant-derived vaccine tablet formulation. *Journal of Applied Genetics*, 52(2), 125–136. <https://doi.org/10.1007/s13353-010-0001-5>
- [4] Yusibov, V. (2002). Expression in plants and immunogenicity of plant virus-based experimental rabies vaccine. *Vaccine*, 20(25–26), 3155–3164. [https://doi.org/10.1016/S0264-410X\(02\)00260-8](https://doi.org/10.1016/S0264-410X(02)00260-8)
- [5] Dus Santos, M. J., Carrillo, C., Ardila, F., Ríos, R. D., Franzone, P., Piccone, M. E., Wigdorovitz, A., & Borca, M. V. (2005). Development of transgenic alfalfa plants containing the foot and mouth disease virus structural polyprotein gene P1 and its utilization as an experimental immunogen. *Vaccine*, 23(15), 1838–1843. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2004.11.014>