



GENÓMICA INTEGRAL: DE LA CIENCIA BÁSICA A SU APLICACIÓN EN SECTORES ESTRATÉGICOS

INTEGRAL GENOMICS: FROM BASIC SCIENCE TO ITS APPLICATION IN STRATEGIC SECTORS

Andrea María Torres-Irribé*¹



Orcid: 0009-0004-7416-4216



andreatorresiribe.fcqb@uas.edu.mx

Carlos Abraham Pérez-Herrera¹



Orcid: 0009-0008-7922-1856



abraham.perez.fcqb@uas.edu.mx

¹ Posgrado en Ciencias Biológicas, Unidad Académica Facultad de Biología de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Ave. Universitarios y Blvd. de las Américas s/n. Ciudad Universitaria, Culiacán Rosales, Sinaloa, México. C.P. 80013.

*Autor de correspondencia

Recibido: 25 de junio de 2024

Aceptado: 26 de junio de 2024

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir igual (CC BY-NC-SA 4.0), que permite compartir y adaptar siempre que se cite adecuadamente la obra, no se utilice con fines comerciales y se comparta bajo las mismas condiciones que el original.

Acta Biológica Mexicana Revista de la Facultad de Biología Núm.2, ISSN (en trámite)

GENÓMICA INTEGRAL: DE LA CIENCIA BÁSICA A SU APLICACIÓN EN SECTORES ESTRATÉGICOS

INTEGRAL GENOMICS: FROM BASIC SCIENCE TO ITS APPLICATION IN STRATEGIC SECTORS

Andrea María Torres-Irbe y Carlos Abraham Pérez-Herrera

Resumen

La genómica es una disciplina integral que mediante el uso de nuevas tecnologías, permite abordar problemáticas ambientales, animales, agrícolas y humanas de importancia internacional.

Palabras clave: ambiente, genómica, producción, salud.

Abstract

Genomics is an integral discipline that, through the use of modern technologies, allows us to solve environmental, animal, agricultural and human concerns of global importance.

Keywords: environment, genomics, health, production.

En las últimas décadas, la genómica se ha consolidado como una disciplina esencial en las ciencias biológicas, transformando radicalmente la forma en que se estudian los organismos, la herencia y las enfermedades (Figura 1). A diferencia de la genética clásica, centrada en el análisis de genes individuales, la genómica aborda el estudio integral del genoma completo, permitiendo una comprensión sistémica de su estructura, función, evolución y regulación (Council, 2006; Weissenbach, 2016).

Genómica en salud ambiental

Es en ese contexto que la genómica ha abierto nuevas perspectivas para el diagnósti-

co, monitoreo y tratamiento de problemáticas ambientales (McDaniel et al., 2021). A través de enfoques como la metagenómica, donde es posible secuenciar directamente el material genético de comunidades microbianas presentes en entornos contaminados como aguas residuales, suelos o sedimentos sin necesidad de cultivo previo, lo que permite identificar tanto la diversidad microbiana como sus funciones ecológicas. Esta estrategia ha demostrado ser clave para detectar genes asociados a la biodegradación de compuestos tóxicos, así como para monitorear la presencia de microorganis-

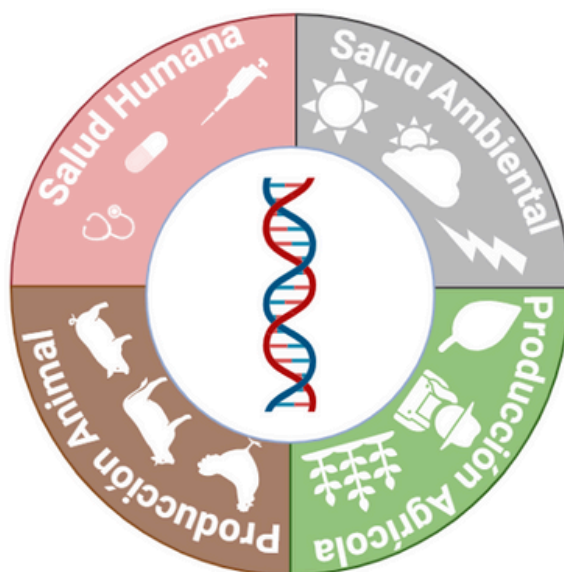


Figura 1. Enfoques integrales de la genómica. La genómica es una disciplina integral que abarca ámbitos ambientales, agrícolas, humanos y animales, resolviendo problemáticas en cada uno de estos sectores.

mos patógenos (Zhang et al., 2021).

Por otra parte, en el tratamiento de aguas residuales, se han implementado diversas estrategias basadas en tecnologías genómicas, como el uso de consorcios microbianos optimizados para la degradación de contaminantes específicos, la bioestimulación de microorganismos nativos, y la incorporación de herramientas de análisis multiómicos que permiten evaluar en tiempo real la eficiencia del proceso biológico; fortaleciendo así a los sistemas de vigilancia ambiental, permitiendo detectar alteraciones en la composición microbiana o la aparición de contaminantes emergentes, y contribuyendo a una gestión más eficiente y sostenible del recurso hídrico (Czech et al., 2022; Kalvapalle et al., 2024).

Genómica en la producción

Otras áreas de oportunidades son la producción animal y agrícola. Anteriormente, estas se enfocaban en la detección de variantes génicas y la selección de individuos con atributos más favorables. Sin embargo, el mejoramiento de la producción requiere de un mejor entendimiento del funcionamiento genómico y su interacción con elementos ambientales (Rexroad et al., 2019).

A través del análisis detallado del ADN de plantas y animales, es posible identificar con precisión los genes responsables de características clave como el rendimiento, la resistencia a enfermedades, la tolerancia al estrés abiótico o al estrés biótico, así como la

calidad nutricional (Esposito et al., 2016).

Este conocimiento ha impulsado estrategias más eficientes para el mejoramiento genético, generando un impacto directo en la productividad y sostenibilidad del sector agroalimentario (Chachar et al., 2024).

Tecnologías como la secuenciación masiva (NGS), los estudios de asociación genómica (GWAS) y la selección genómica asistida han acelerado significativamente los programas de mejoramiento genético (Figura 2). Esto ha permitido acortar los ciclos de selección y aumentar la eficiencia en la obtención de variedades más adaptadas a los retos ambientales y las necesidades del mercado (Esposito et al., 2016).

Complementariamente, la genómica ha sido clave para el desarrollo de la agricultura de precisión al integrar datos genéticos con sensores, sistemas de geolocalización y análisis de big data. Esto ha permitido tomar decisiones informadas sobre el uso de fertilizantes, el riego y el control de plagas, así como optimizar el uso de recursos y reducir el impacto ambiental (Chao et al., 2023; Tyagi et al., 2024).

Genómica en la salud humana

Este enfoque integrativo ha llegado a trascender al ámbito de las enfermedades enfermedades zoonóticas. En ese contexto o, el manejo y la prevención re-

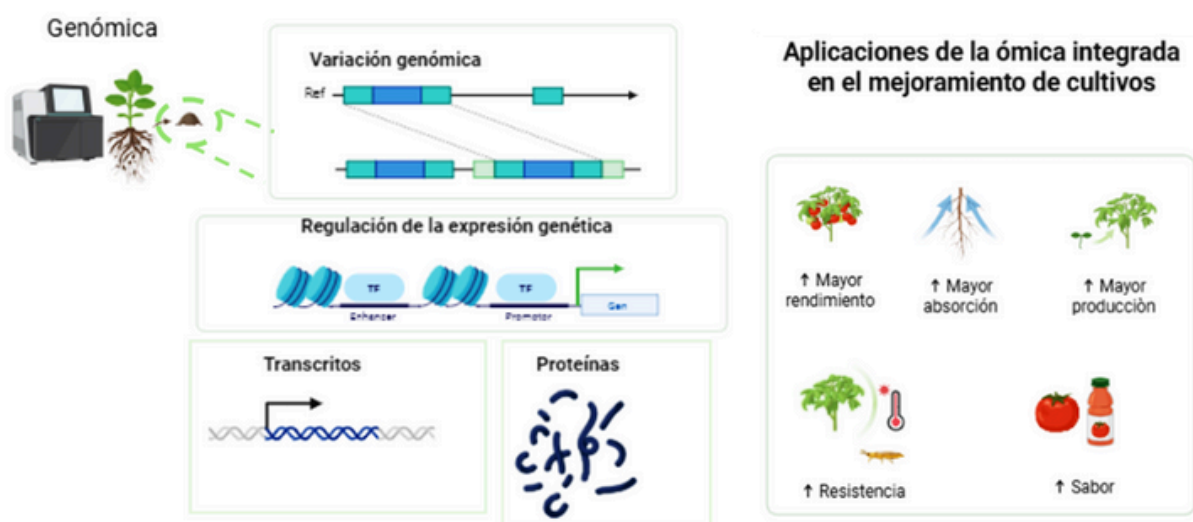


Figura 2. Aplicación de enfoques ómicos para el mejoramiento de cultivos. La genómica permite identificar variantes genéticas, patrones de regulación y moléculas como transcritos y proteínas para, a partir de ellos, mejorar el rendimiento, absorción, producción, resistencia y sabor de los cultivos.

quiere del desarrollo de enfoques multidisciplinarios como el de Una Sola Salud, el cual busca reconocer que la salud animal y la salud humana están interconectadas entre sí y con la salud ambiental (Catalano et al., 2024; Davis et al., 2017). Los patógenos zoonóticos resaltan la importancia de la integración de estos sectores (Catalano et al., 2024; OMS, 2019). Afortunadamente, las tecnologías de secuenciación se han vuelto más rápidas y accesibles, lo que permite estimar procesos epidemiológicos en un corto periodo de tiempo y detectar patógenos de manera más precisa (Catalano et al., 2024; Goodwin et al., 2016).

Estos avances tecnológicos también han impactado a la salud pública, donde el componente genético ha adquirido especial re-

levancia (Wilkinson et al., 2011). Los avances en genómica han permitido comprender con mayor profundidad cómo las interacciones entre genes humanos, así como su relación con el ambiente, afectan la salud de los individuos (Molster et al., 2018). Particularmente, hoy es posible elucidar la patogénesis de enfermedades mediante la identificación de genes involucrados, variantes génicas, patrones de expresión e interacciones ambientales (Burke et al., 2010; Knoppers et al., 2010); calcular el riesgo a desarrollar diferentes patologías mediante la identificación de variantes genéticas asociadas (Rogowski et al., 2009; Wilkinson et al., 2011); diagnosticar enfer-

medades mediante biomarcadores moleculares (He et al., 2020), y mejorar la prevención mediante una identificación de patógenos más rápida y precisa (Lecuit & Eloit, 2015).

Tendencias futuras y limitaciones en la investigación genómica

Los avances en genómica están redefiniendo áreas clave como la salud, la producción agroalimentaria y la gestión ambiental. En los próximos años, se prevé una mayor convergencia entre esta disciplina y herramientas como la inteligencia artificial, las tecnologías ómicas y el análisis masivo de datos.

Esta sinergia facilitará el procesamiento eficiente de información genética, por lo que se espera una transformación significativa en campos como la medicina personalizada, la agricultura de precisión y el monitoreo ambiental, impulsando decisiones más rápidas, informadas y adaptadas a necesidades específicas.

No obstante, estos avances también enfrentan diversas limitaciones que deben ser atendidas. Las existentes barreras éticas, legales y sociales, como la infraestructura tecnológica, la falta de personal especializado, la protección de la información genética, la equidad en el acceso a tecnologías avanzadas y el consentimiento sobre el uso de datos genómicos limita la implementación de soluciones genómicas.

Finalmente, la reproducibilidad entre estudios se puede ver comprometida por falta de estandarización metodológica y reportes de datos genómicos. Es por ello que es sumamente importante fomentar el desarrollo de nuevos marcos normativos, colaboraciones interdisciplinarias y políticas públicas que promuevan un desarrollo ético y sostenible de la investigación genómica en diferentes sectores estratégicos.

Referencias

1. Burke, W., Burton, H., Hall, A. E., Karmali, M., Khoury, M. J., Knoppers, B., Meslin, E. M., Stanley, F., Wright, C. F., y Zimmern, R. L. 2010. Extending the reach of public health genomics: what should be the agenda for public health in an era of genome-based and “personalized” medicine?. *Genet Med*, 12(12), 785-791.
<https://doi.org/10.1097/GIM.0b013e3182011222>
2. Catalano, S., Battelli, F., Traore, Z. I., Raghwan, J., Faust, C. L., y Standley, C. J. 2024. Pathogen genomics and One Health: A scoping review of current practices in zoonotic disease research. *IJID One Health*, 4, 100031.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijidoh.2024.100031>
3. Chachar, Z., Fan, L., Chachar, S., Ahmed, N., Narejo, M.-u.-N., Ahmed, N., Lai, R., y Qi, Y. 2024. Genetic and Genomic Pathways to Improved Wheat (*Triticum aestivum* L.) Yields: A Review. *Agronomy*, 14(6), 1201.
<https://www.mdpi.com/2073-4395/14/6/1201>
4. Chao, H., Zhang, S., Hu, Y., Ni, Q., Xin, S., Zhao, L., Ivanisenko, V. A., Orlov, Y. L., y Chen, M. 2023. Integrating omics databases for enhanced crop breeding. *Journal of Integrative Bioinformatics*, 20(4).
<https://doi.org/doi:10.1515/jib-2023-0012>
5. Council, N. R. 2006. Review of the Department of Energy's Genomics: GTL Program. *The National Academies Press*. <https://doi.org/doi:10.17226/11581>
6. Czech, L., Stamatakis, A., Dunthorn, M., y Barbera, P. 2022. Metagenomic Analysis Using Phylogenetic Placement—A Review of the First Decade [Review]. *Frontiers in Bioinformatics*, Volume 2 - 2022.
<https://doi.org/10.3389/fbinf.2022.871393>
7. Davis, M. F., Rankin, S. C., Schurer, J. M., Cole, S., Conti, L., Rabinowitz, P., Gray, G., Kahn, L., Machalaba, C., Mazet, J., Pappaioanou, M., Sargeant, J., Thompson, A., Weese, S., y Zinnstag, J. 2017. Checklist for One Health Epidemiological Reporting of Evidence (COHERE) *One Health*, 4, 14-21.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2017.07.001>
8. Esposito, A., Colantuono, C., Ruggieri, V., y Chiusano, M. L. 2016. Bioinformatics for agriculture in the Next-Generation sequencing era. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 3(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0054-8>
9. Goodwin, S., McPherson, J. D., y McCombie, W. R. 2016. Coming of age: ten years of next-generation sequencing technologies. *Nature Reviews Genetics*, 17(6), 333-351.
<https://doi.org/10.1038/nrg.2016.49>
10. He, B., Zhao, Z., Cai, Q., Zhang, Y., Zhang, P., Shi, S., Xie, H., Peng, X., Yin, W., Tao, Y., y Wang, X. 2020. miRNA-based biomarkers, therapies, and resistance in Cancer. *Int J Biol Sci*, 16(14), 2628-2647.
<https://doi.org/10.7150/ijbs.47203>
11. Kalvapalle, P. B., Sridhar, S., Silberg, J. J., y Stadler, L. B. 2024. Long-duration environmental biosensing by recording analyte detection in DNA using recombinase memory. *Applied and Environmental Microbiology*, 90(4), e02363-02323.
<https://doi.org/doi:10.1128/aem.02363-23>
12. Knoppers, B. M., Leroux, T., Doucet, H., Godard, B., Laberge, C., Stanton-Jean, M., Fortin, S., Cousineau, J., Monardes, C., Girard, N., Levesque, L., Durand, C., Farmer, Y., Dion-Labrie, M., Bouthillier, M. E., y Avard, D. 2010. Framing genomics, public health research and policy: points to consider. *Public Health Genomics*, 13(4), 224-234. <https://doi.org/10.1159/000279624>
13. Lecuit, M., y Eloit, M. 2015. The potential of whole genome NGS for infectious disease diagnosis. *Expert Rev Mol Diagn*, 15(12), 1517-1519.
<https://doi.org/10.1586/14737159.2015.1111140>

14. McDaniel, E. A., Wahl, S. A., Ishii, S., Pinto, A., Ziels, R., Nielsen, P. H., McMahon, K. D., y Williams, R. B. H. 2021. Prospects for multi-omics in the microbial ecology of water engineering. *Water Res*, 205, 117608.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117608>
15. Molster, C. M., Bowman, F. L., Bilkey, G. A., Cho, A. S., Burns, B. L., Nowak, K. J., y Dawkins, H. J. S. 2018. The Evolution of Public Health Genomics: Exploring Its Past, Present, and Future. *Front Public Health*, 6, 247.
<https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00247>
16. Organización Mundial de la Salud. 2019. Taking a multisectoral one health approach: a tripartite guide to addressing zoonotic diseases in countries. Food & Agriculture Org.
17. Rexroad, C., Vallet, J., Matukumalli, L. K., Reecy, J., Bickhart, D., Blackburn, H., Boggess, M., Cheng, H., Clutter, A., Cockett, N., Ernst, C., Fulton, J. E., Liu, J., Lunney, J., Neibergs, H., Purcell, C., Smith, T. P. L., Sonstegard, T., Taylor, J., Wells, K. 2019. Genome to Phenome: Improving Animal Health, Production, and Well-Being – A New USDA Blueprint for Animal Genome Research 2018–2027 [Policy and Practice Reviews]. *Frontiers in Genetics*, Volume 10 - 2019.
<https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00327>
18. Rogowski, W. H., Grosse, S. D., y Khoury, M. J. 2009. Challenges of translating genetic tests into clinical and public health practice. *Nat Rev Genet*, 10(7), 489-495. <https://doi.org/10.1038/nrg2606>
19. Tyagi, A., Mir, Z. A., Almalki, M. A., Deshmukh, R., y Ali, S. 2024. Genomics-Assisted Breeding: A Powerful Breeding Approach for Improving Plant Growth and Stress Resilience. *Agronomy*, 14(6), 1128. <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/6/1128>
20. Weissenbach, J. 2016. The rise of genomics. *Comptes Rendus. Biologies*, 339(7-8), 231-239.
<https://doi.org/10.1016/j.crvi.2016.05.002>
21. Wilkinson, J. R., Ells, L. J., Pencheon, D., Flowers, J., y Burton, H. 2011. Public health genomics: the interface with public health intelligence and the role of public health observatories. *Public Health Genomics*, 14(1), 35-42. <https://doi.org/10.1159/000294170>
22. Zhang, L., Chen, F., Zeng, Z., Xu, M., Sun, F., Yang, L., Bi, X., Lin, Y., Gao, Y., Hao, H., Yi, W., Li, M., y Xie, Y. 2021. Advances in Metagenomics and Its Application in Environmental Microorganisms [Review]. *Frontiers in Microbiology*, Volume 12 - 2021.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.766364>