



Recibido: 12 de Octubre 2025 / Aceptado: 12 de diciembre 2025 / Publicado: 21 de Abril 2026
Área: Medicina

CAPÍTULO 7 EL SISTEMA INMUNE INFANTIL.

Quevedo, M., Hurtado L., González C.
DOI: 10.55204/pmea.128.c193

María José Quevedo 0000-0001-8431-1946 
mquevedoc@ucacue.edu.ec

Larisa Araceli Hurtado Flores 0009-0003-8858-9904 
hurtadolarisa@est.ucacue.edu.ec

Camila Raquel González González 0000-0002-3702-9478 
camila.gonzalez.66@est.ucacue.edu.ec

Universidad Católica de Cuenca (UCACUE), Unidad Académica de Salud y Bienestar,
Av. de las Américas y Humboldt 010107, Cuenca, Ecuador.

RESUMEN

El sistema inmune infantil posee sus propias características diferentes a las del adulto, cualidad que influye en su susceptibilidad hacia diferentes patologías así como a intervenciones inmunológicas como el uso de vacunas. A pesar de los avances en la actualidad las infecciones se siguen considerando como la principal causa de morbilidad infantil a nivel mundial. Es por ello que el presente trabajo tiene como finalidad explorar las particularidades del sistema inmune desde su desarrollo embriológico hasta la infancia, así como la influencia de factores ambientales. Se abordará como la exposición precoz a patógenos y la microbiota comensal esculpen la maduración de las respuestas inmunes innatas y adaptativas. Se examinará la respuesta inmune adaptativa, que incluye anticuerpos y respuestas de células B de memorias así como la respuesta innata, caracterizada por respuestas de citocinas específicas y la activación de células inmunitarias en sangre.

Palabras Clave: sistema inmune adaptativo, sistema inmune innato, infantil, células B, células T, citocinas.

ABSTRACT

The infant immune system has its own characteristics that differ from those of adults, a quality that influences its susceptibility to different diseases as well as to immunological interventions such as the use of vaccines. Despite current advances, infections are still considered the leading cause of child morbidity and mortality

worldwide. That is why this study aims to explore the particularities of the immune system from its embryonic development to childhood, as well as the influence of environmental factors. It will address how early exposure to pathogens and commensal microbiota shape the maturation of innate and adaptive immune responses. It will examine the adaptive immune response, which includes antibodies and memory B cell responses, as well as the innate response, characterized by specific cytokine responses and the activation of immune cells in the blood.

Keywords: adaptive immune system, innate immune system, infant, B cells, T cells, cytokines.

INTRODUCCIÓN

El sistema inmune infantil consiste en un conjunto de mecanismo que nos ayudan a la protección del niño frente a cualquier agente invasor externo como pueden ser: bacterias, toxinas y hongos desde su nacimiento, por lo que en esta etapa el sistema inmune sigue en un constante desarrollo siendo así diferente que los adultos (1).

En sus primeras etapas el recién nacido depende de una inmunidad pasiva de la madre la misma que es transmitida a través de la placenta y la leche la cual nos ayudará a mantener una protección provisional. La inmunidad se divide en dos grandes tipos: innata y adaptativa. La inmunidad innata constituye la primera línea de defensa del organismo y actúa de manera inmediata frente a cualquier agente extraño, sin requerir exposición previa; incluye las barreras físicas como la piel y las mucosas, las células fagocíticas (macrófagos y neutrófilos), el sistema del complemento y diversos mediadores inflamatorios (1,2).

En cambio, la inmunidad adaptativa o adquirida se desarrolla después del contacto con un antígeno específico, generando una respuesta más lenta pero altamente especializada, mediada por linfocitos T y B, con producción de anticuerpos y la capacidad de generar memoria inmunológica para responder de forma más eficaz ante futuras exposiciones (2).

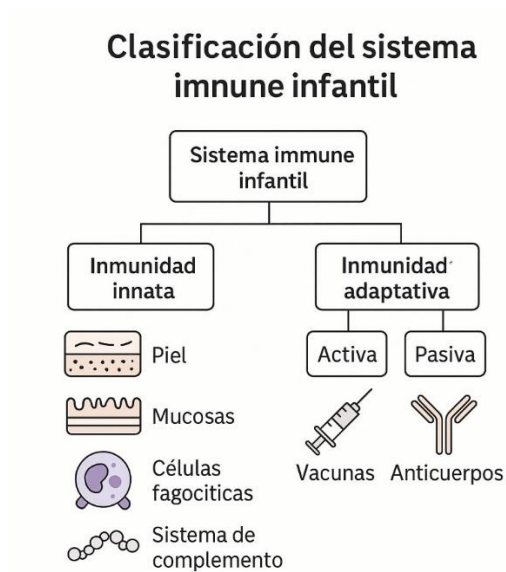
La inmunidad adaptativa o adquirida, para que se genere su activación, toma más tiempo que la inmunidad innata; sin embargo, una vez completada, es altamente específica, ya que tiene la capacidad de reconocer e identificar distintos antígenos. Está conformada por linfocitos, entre los cuales destacan los linfocitos B, que participan en

la respuesta humoral, ayudando a la producción de anticuerpos, y los linfocitos T, que regulan y ejecutan la respuesta inmune celular, siendo los más conocidos los linfocitos T CD4⁺ y los linfocitos T CD8⁺ (3).

Esta inmunidad se divide en dos tipos: activa, cuando el organismo genera sus propias defensas frente a una infección o mediante la estimulación inmunológica que proporcionan las vacunas; y pasiva, cuando se reciben anticuerpos ya formados, lo cual puede ocurrir de manera natural, a través del paso de inmunoglobulinas maternas por la placenta, o de forma artificial, mediante la administración de inmunoglobulinas o anticuerpos monoclonales (3).

En conjunto, el sistema inmunitario infantil integra las defensas inmediatas de la inmunidad innata con la protección más duradera de la inmunidad adaptativa, alcanzando su madurez plena a lo largo de los primeros años de vida.

Gráfico 1: Clasificación del sistema inmune infantil



METODOLOGÍA

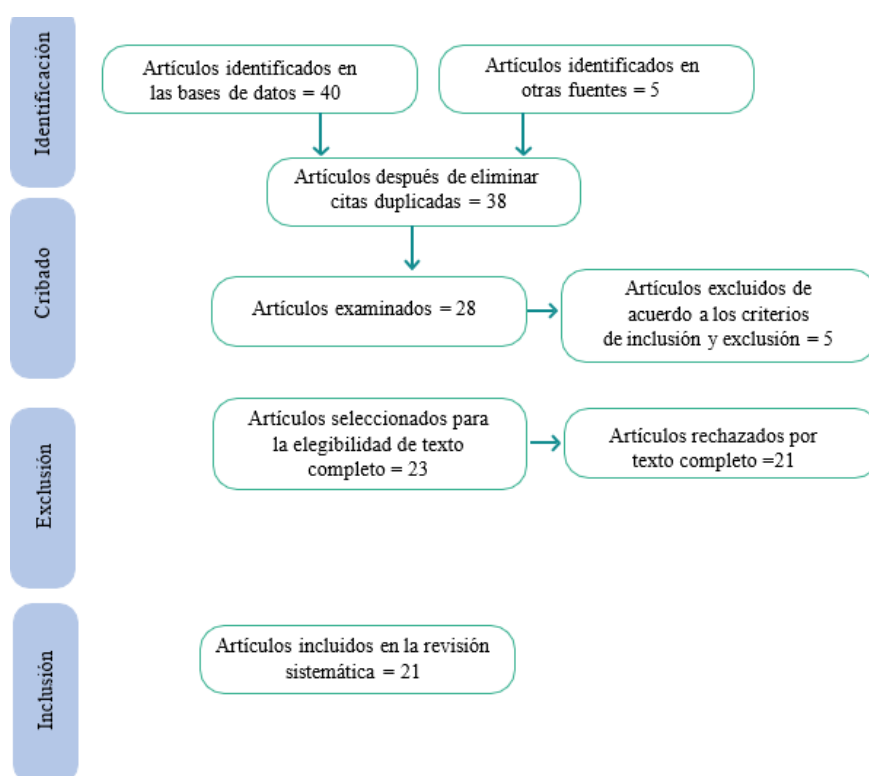
Para este estudio se realizó una investigación bibliográfica descriptiva y de revisión sistemática relacionada con el sistema inmune infantil. Para lo cual se establecieron estrategias de búsqueda tomando en consideración algunas bases de datos científicas como : Libros, PubMed, Scielo, Elsevier, Frontiers in Immunology, Science Direct y la Biblioteca Virtual en Salud (BVS) se usaron las palabras clave: *inmune infantil, desarrollo inmunológico, inmunidad adaptativa, inmunidad innata, inmunidad*

neonatal, maduración inmunitaria, anticuerpos maternos, vacunación pediátrica, y respuesta inmunitaria temprana, mismas que fueron combinadas con el uso de los operadores lógicos booleanos AND y OR.

Para la recolección de la información, se procedió al análisis sistemático de varios artículos a través del uso de la guía de la evaluación Prisma 2020, posteriormente se registraron datos como: autor, tipo de estudio, objetivo, resultados y conclusiones. Solo se incluyeron investigaciones publicadas entre 2020 y 2025, escritas en inglés o español, y que abordaran el desarrollo o funcionamiento del sistema inmunológico infantil.

El proceso de selección de los artículos se representa por medio del diagrama de flujo de Prisma

Figura 1. Diagrama de flujo de selección de artículos



RESULTADOS

PERIODO FETAL

Antes de que los ganglios linfáticos, la medula ósea (MO) y el timo se establezcan como los órganos hematopoyéticos principales, se producen olas transitorias de hematopoyesis en el mesodermo para cubrir las necesidades inmediatas del embrión en crecimiento.

El desarrollo del aparato hematopoyético empieza en la pared del saco vitelino a mediados de la semana 2 de gestación, con la formación de islotes sanguíneos a partir de hemangioblastos, los cuales tienen la capacidad de desarrollo biopotencial y pueden dar origen tanto a células madre hematopoyéticas pluripotenciales (CMHP) como a células endoteliales (4).

Los hemangioblastos también dan origen a células precursoras hemangiogénicas, las cuales se desarrollan en el mesodermo posterolateral durante la gastrulación y desde aquí bajo la influencia de Runx-1, se diferencian en el linaje hematopoyético (4).

Hacia el día 28 de desarrollo, inicia la hematopoyesis intraembrionaria definitiva, a partir de acúmulos paraaórticos ubicados en el mesodermo esplacnopleural, que forman la región aorta-gónadas-mesonefros (AGM). En esta región se generan verdaderas CMHP capaces de mantener la hematopoyesis durante toda la vida. A partir de la 6 – 8 semana empiezan a migrar por vía sanguínea hacia el hígado fetal, que se convierte en el principal órgano hematopoyético durante la gestación (4-5).

A partir de la quinta semana, las primeras CMHP denominadas también hemocitoblastos, se diferencian en dos linajes principales: células madre linfoideas y células madre mieloides. Esta última es precursora de la línea celular sanguínea que da lugar a: megacariocitos, eosinófilos, neutrófilos, mastocitos, basófilos monocitos y eritrocitos mientras que la primera da origen a dos líneas de linfocitos: linfocitos T (encargados de reacciones inmunes celulares) y linfocitos B (responsables de la síntesis de anticuerpos), facilitando así el crecimiento del hígado (4-6).

Durante la octava semana de desarrollo, los progenitores linfoideos tempranos migran del hígado hacia el timo, en donde maduran y empiezan a diferenciarse en

protimocitos y después en células T vírgenes que comienzan a expresar genes del Complejo Mayor de Histocompatibilidad (MHC) clase I y II, permitiendo que solo aquellos que reconocen el MHC sobrevivan y maduren. Durante la 10 semana los linfocitos constituyen el 95% de células en el timo. En la semana 11 empiezan a colonizar el bazo y otros tejidos periféricos como el epitelio, mucosa intestinal, lamina propia y ganglios linfáticos que empiezan a aparecer (4,6-8).

Paralelamente se forman precursores de linfocitos B en el hígado los cuales entre la semana 10-11 migran junto con células madre hematopoyéticas provenientes del saco vitelino, hígado y la región AGM hacia la MO, la cual se consolida como el principal órgano hematopoyético, que sintetiza líneas mieloides formadas por neutrófilos, eosinófilos, basófilos, monocitos y sus derivados macrófagos, así como células dendríticas y líneas linfoides conformadas por precursores de linfocitos B y T. a partir de la semana 13-16 el feto empieza a protegerse con anticuerpos IgG pasivos que se transportan a través de la placenta de forma selectiva por el receptor para el Fc neonatal (FcRn), y llegan a todos los subtipos de IgG durante la vida intrauterina (4,6-8).

Mientras que en la semana 12, a nivel del hígado fetal se empiezan a sintetizar las proteínas del sistema del complemento, aunque su funcionalidad no se alcanza hasta después del nacimiento (4,6-8).

PERIODO NEONATAL

Las primeras 4 semanas de vida extrauterina, son cruciales para el neonato puesto que pasa de un entorno casi estéril en el útero a un mundo rico en microbios, para el que se vuelven muy propensos a infecciones, debido a que no han tenido exposición previa. Para lo cual los recién nacidos cuentan con un sistema inmunitario innato (SII) inmaduro, reducido y limitado que actúa como la primera línea de defensa frente a infecciones (8,9). Constituida por barreras físicas y químicas que son más permeables que en adultos y células fagocíticas como neutrófilos, células dendríticas, macrófagos y NK (8-10).

“Estas células reconocen patrones moleculares asociados a patógenos (PAMP) presentes en el patógeno invasor, mediante los receptores de reconocimiento de patrones (PRR), como receptores tipo peaje (TLR), aunque con una respuesta proinflamatoria y microbicida reducida para evitar inflamación excesiva” (11). Así como en el adulto estas

células fagocíticas pueden migrar hacia zonas de inflamación, pero con menor capacidad de sintetizar especies reactivas de oxígeno (11).

Por otro lado, el SIA tiene poca diversidad, pues al momento del nacimiento, los neonatos no sintetizan inmunoglobulinas propias por la inmadurez de su sistema, dependen casi por completo de la inmunización materna que se transfiere a través de dos vías: la transplacentaria que se lleva a cabo intrauterino, la cual le proporciona al recién nacido una concentración de IgG tan alta como la de su madre y con el mismo rango de antígenos específicos (12-13)

Y la otra vía es la leche materna o calostro el cual está conformado por moléculas activas indispensables para el desarrollo del neonato, así como anticuerpos IgA, IgM e IgG, que se transfieren al intestino del neonato, donde proporcionan protección contra bacterias, al unirse a bacterias comensales para aumentar su síntesis (13-14).

En neonatos, el timo es relativamente grande y activo, debido a que es fundamental para la generación de células T inmunocompetentes que saldrán del timo y se dirigirán a través de vasos linfáticos y sanguíneos hacia órganos linfoides periféricos (13-14). “Los neonatos poseen una subpoblación especial, recientemente descubierta, de células T productoras de interleucina-8 (CXCL8), que activan los neutrófilos antimicrobianos, cuyo número disminuye con la edad” (15).

LACTANTE

En bebés de un mes hasta 2 años, el SII sigue siendo la primera barrera de defensa la cual se sigue desarrollando progresivamente, debido a que las células van aumentando su capacidad para fagocitar, se evidencia también un incremento en la liberación de citoquinas y respuestas proinflamatorias más eficaces. Aumenta también la expresión de PRR mejorando así la detección de patógenos y la respuesta inmunitaria (16).

Paralelamente en el SIA, los órganos linfoides como el timo, aumentan la expresión de genes MHC en los timocitos, mejorando así la capacidad para reconocer antígenos. Los ganglios linfáticos y el bazo aumentan su tamaño y funcionalidad, para facilitar la presentación de antígenos a los linfocitos, también se forma un centro germinativo para que los linfocitos B proliferen y se desarrollen (1, 8, 16).

Durante este periodo de tiempo se produce el crecimiento y maduración de tejido linfoide asociado a mucosas (MALT), en el tracto gastrointestinal, donde la microbiota influye en el desarrollo de la educación antigénica. La MO, sigue siendo el principal sitio de hematopoyesis, sintetizando células mieloides y linfoides (1, 8, 16).

Por otro lado, en el SIA, el 40% de linfocitos B son células B1 a medida que la IgG se cataboliza, las concentraciones de anticuerpos disminuyen de modo gradual hasta que el lactante empieza a producir cantidades útiles de su propia IgG alrededor de los seis meses de edad. También aumentan las subpoblaciones de linfocitos: Linfocitos Teg, Linfocitos Th1, Linfocitos Th2 y Linfocitos Th17, mejorando aún más el reconocimiento de patógenos y la actividad del sistema inmune, del mismo modo incrementa la producción de anticuerpos y en los meses siguientes se desarrolla la memoria inmunológica (MI) (1, 8, 16).

Las vacunas son la piedra angular para promover la generación de MI frente a patógenos y proteger a los lactantes de infecciones con elevada morbilidad, estudios epidemiológicos muestran que los primeros meses de vida son cruciales para la educación inmunológica, y la vacunación tiene un impacto significativo (16-17).

INFANCIA (2-12 AÑOS)

A los dos años el timo empieza a involucionar de forma lenta y a partir de los 3 – 5 años empieza a disminuir la producción de linfocitos T vírgenes. A nivel del SII incrementa la producción de citocinas proinflamatorias y en el sistema inmune adaptativo (SIA) se consolida las respuestas de memoria a vacunas y antígenos ambientales, dándole así la capacidad de generar respuestas específicas y MI (1,18,19).

Se evidencia también mayor producción de anticuerpos IgG e IgA, estos últimos alcanzan niveles séricos funcionales a partir de los 6 años, fortaleciendo además mucosas genitourinarias, respiratorias y digestivas, por el contrario, IgD e IgE poseen niveles bajos que incrementan proporcionalmente con la exposición a alérgenos (19). El SII madura completamente durante los primeros 7-8 años, en esta edad hay activación funcional de la mucosa bronquial, se refuerza la inmunidad local del tejido linfoide nasofaríngeo con producción de IgA (15,19).

Entre los 9-12 años, aunque el timo sigue siendo funcional, va sustituyendo gradualmente el tejido linfoideo activo por tejido adiposo (19). El bazo alcanza la madurez y tiene la capacidad de eliminar patógenos y células anormales. Las amígdalas que forman parte de las MALT también muestran signos de involución a esta edad, esto se produce debido a que la estimulación antigénica que antes era constante, en esta etapa disminuye por el desarrollo de MI (20). Toda esta inmunidad se refuerza con las proteínas del sistema del complemento que alcanzan concentraciones plasmáticas similares a las del adulto. Desarrollando así un sistema inmunológico eficaz y equilibrado, con la capacidad de producir respuestas rápidas y específicas para responder a infecciones (21).

DISCUSIÓN

Un aporte importante sobre investigaciones entorno al desarrollo del sistema inmune de Moraes-Pinto et al (2020) mencionan que hasta hace poco, se pensaba que el entorno intrauterino era completamente estéril. Estudios recientes han cuestionado este concepto, ya que han descrito una biomasa microbiana muy pequeña en el tejido placentario, la sangre del cordón umbilical y el meconio. A su vez, los desafíos metodológicos, los resultados contradictorios y el conocimiento inmunológico actual aún arrojan dudas sobre la interpretación de estos hallazgos (6).

Por otro lado, Kloc et.al (2020) dice que también existen teorías de que el sistema inmunitario del feto es entrenado por la inflamación materna, que influye y establece una memoria inmunitaria de larga duración en las células madre hematopoyéticas fetales (15)

REFERENCIAS

1. Inmunología e inmunizaciones | Comité Asesor de Vacunas de la AEP [Internet]. Available from: <https://vacunasaep.org/documentos/manual/cap-48>
2. Tipos de inmunidad adaptativa, la respuesta “mutante” contra la infección [Internet]. www.elsevier.com. 2020. Available from: <https://www.elsevier.com/es-es/connect/tipos-de-inmunidad-adaptativa-la-respuesta-mutante-contra-la-infeccion>
3. Semmes EC, Chen JL, Goswami R, Burt TD, Permar SR, Fouda GG. Understanding Early-Life Adaptive immunity to guide interventions for pediatric health. *Frontiers in Immunology* [Internet]. 2021 Jan 21;11. Available from: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.595297>
4. Carlson BM. *Embriología humana y biología del desarrollo*. 6.^a ed. Barcelona: Elsevier España; 2018. ISBN 978-8413827209.
5. Hossain Z, Reza AHMM, Qasem WA, Friel JK, Omri A. Development of the immune system in the human embryo. *Pediatric Research* [Internet]. 2022 Jan

- 18;92(4):951–5. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41390-022-01940-0>
6. De Moraes-Pinto MI, Suano-Souza F, Aranda CS. Immune system: development and acquisition of immunological competence. *Jornal De Pediatria* [Internet]. 2020 Nov 9;97:S59–66. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9432342/>
 7. Hossain Z, Reza AHMM, Qasem WA, Friel JK, Omri A. Development of the immune system in the human embryo. *Pediatric Research* [Internet]. 2022 Jan 18;92(4):951–5. Available from: <https://www.nature.com/articles/s41390-022-01940-0>
 8. Kliegman RM, St. Geme JW, Stanton BF, Schor NF, Behrman RE, eds. *Nelson. Tratado de Pediatría*. 20.^a ed. Vol. 1. Barcelona: Elsevier; 2020.
 9. Male D, Brostoff J, Roth DB, Roitt I. *Inmunología*. 8.^a ed. Barcelona: Elsevier España; 2021.
 10. Crofts KF, Alexander-Miller MA. Challenges for the newborn immune response to respiratory virus infection and vaccination. *Vaccines* [Internet]. 2020 Sep 24;8(4):558. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7712002/>
 11. Murphy K, Travers P, Walport M, Janeway CA Jr. *Inmunobiología de Janeway*. 7.^a ed. Madrid: Editorial Médica Panamericana; 2009.
 12. Corona-Cervantes K, Sánchez-Salguero E, Zárate-Segura PB, Krishnakumar A, Piña-Escobedo A, Rangel-Calvillo MN, et al. Maternal immunoglobulins differentially bind a diverse bacterial community in human colostrum and the stool of breastfed neonates. *Immunology Letters* [Internet]. 2025 Feb 1;106978. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.imlet.2025.106978>
 13. De S, Mandal SK, Das R, Maitra D, Saha S, S RSK, et al. Ultrasonographic assessment of the thymus among neonates admitted in a special newborn care unit of a medical college hospital in eastern India. *Cureus* [Internet]. 2024 Aug 16; Available from: <https://doi.org/10.7759/cureus.67036>
 14. Semmes EC, Chen JL, Goswami R, Burt TD, Permar SR, Fouda GG. Understanding Early-Life Adaptive immunity to guide interventions for pediatric health. *Frontiers in Immunology* [Internet]. 2021 Jan 21;11. Available from: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.595297>
 15. Kloc M, Ghobrial RM, Kuchar E, Lewicki S, Kubiak JZ. Development of child immunity in the context of COVID-19 pandemic. *Clinical Immunology* [Internet]. 2020 Jun 13;217:108510. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.clim.2020.108510>
 16. Sangild PT, Strunk T, Currie AJ, Nguyen DN. Editorial: Immunity in compromised newborns. *Frontiers in Immunology* [Internet]. 2021 Jul 26;12. Available from: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.732332>
 17. Martín SM, Agustí MLM, Miranda APJ, Hernández CS, Chavarri GS, Herce PA, et al. Prevención de las enfermedades infecciosas. Actualización en vacunas PAPPS 2022. *Atención Primaria* [Internet]. 2022 Oct 1;54:102462. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9682159/>
 18. Sly PD. Understanding the role of innate immune training in prevention of respiratory infections. *Pediatric Pulmonology* [Internet]. 2024 Oct 22; Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11921060/>

19. Connors TJ, Matsumoto R, Verma S, Szabo PA, Guyer R, Gray J, et al. Site-specific development and progressive maturation of human tissue-resident memory T cells over infancy and childhood. *Immunity* [Internet]. 2023 Jul 7;56(8):1894-1909.e5. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.immuni.2023.06.008>
20. Hu C, Zhang K, Jiang F, Wang H, Shao Q. Epigenetic modifications in thymic epithelial cells: an evolutionary perspective for thymus atrophy. *Clinical Epigenetics* [Internet]. 2021 Nov 24;13(1). Available from: <https://doi.org/10.1186/s13148-021-01197-0>
21. Hill DL, Carr EJ, Rutishauser T, Moncunill G, Campo JJ, Innocentin S, et al. Immune system development varies according to age, location, and anemia in African children. *Science Translational Medicine* [Internet]. 2020 Feb 5;12(529). Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7738197/>

