Digital School Nutrition Surveillance as an Educational and Health Innovation in Central America

Ethel Flores[1]; Johana Bermudez[2]; Diana Meza[3]; Jenny Cruz[4]; Juan José Flores[5]
[1,2,3,4] Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras, *ethel.flores@unah.edu.hn, johana.bermudez@unah.edu.hn, magoe0101@gmail.com, jenykcm28@gmail.com*
[5] Hospital General San Felipe, Honduras, *juanjflores2003@yahoo.com*

Abstract*– School nutrition monitoring in Central America remains operationally fragile because anthropometric measurements, food environment observations and case follow-up are frequently fragmented across paper records, health visits and education reports. This paper proposes a digital school nutrition surveillance model composed of a dashboard design, presented as a high-fidelity mock-up, and a school intervention cycle for sentinel schools. The design integrates BMI-for-age, height-for-age, screening coverage, school food environment, absenteeism and alert closure indicators. The methodological approach follows design science research with a synthetic scenario analysis to test the internal consistency of prioritization rules and visualizations. All quantitative results are simulated and illustrative; they are not empirical evidence of effectiveness. Four statistical visualizations are provided: a global slope chart of overweight among children and adolescents, a simulated school prioritization scatter plot, a monthly heatmap of alerts and a illustrative alert closure trajectory. The proposed model does not replace clinical evaluation. It creates a low cost decision layer for education and health teams, allowing timely identification, school-level action and referral of cases requiring health assessment. The contribution is a transparent framework, designed for replicability and scalability, for school-based nutrition surveillance in resource-constrained territories; its technical and economic feasibility remains to be demonstrated in a pilot.

***Keywords*-- school nutrition surveillance, dashboard, health-promoting schools, digital health, Central America.**

Vigilancia digital de la nutrición escolar como innovación educativa y sanitaria en Centroamérica

Ethel Flores[1]; Johana Bermudez[2]; Diana Meza[3]; Jenny Cruz[4]; Juan José Flores[5]
[1,2,3,4] Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras, *ethel.flores@unah.edu.hn, johana.bermudez@unah.edu.hn, magoe0101@gmail.com, jenykcm28@gmail.com*
[5] Hospital General San Felipe, Honduras, *juanjflores2003@yahoo.com*

Resumen*– El monitoreo nutricional escolar en Centroamérica continúa siendo débil porque la medición antropométrica, la observación del entorno alimentario y el seguimiento de casos suelen permanecer dispersos entre registros escolares, visitas sanitarias y reportes administrativos. Este artículo propone un sistema digital de vigilancia nutricional escolar integrado por un dashboard, presentado como maqueta de alta fidelidad, y un modelo de intervención para escuelas centinela. El diseño incorpora indicadores de IMC para la edad, talla para la edad, cobertura de tamizaje, entorno alimentario, ausentismo y cierre de alertas. La metodología corresponde a investigación de diseño con análisis de escenarios sintéticos para verificar la consistencia interna de las reglas de priorización y de las visualizaciones. Todos los resultados cuantitativos son simulados e ilustrativos y no constituyen evidencia empírica de efectividad. Se presentan cuatro gráficos estadísticos: una gráfica de pendiente sobre sobrepeso global en escolares y adolescentes, una dispersión de priorización escolar, un mapa de calor mensual de alertas y una trayectoria ilustrativa de cierre de alertas. El modelo no sustituye la evaluación clínica. Su contribución consiste en una capa de decisión para equipos de educación y salud, orientada a identificación oportuna, acción escolar y referencia de casos que requieren valoración sanitaria. Su factibilidad técnica y económica deberá demostrarse en un piloto.

Palabras clave*-- vigilancia nutricional escolar, dashboard, escuelas promotoras de salud, salud digital, Centroamérica.

I. Introducción

La escuela es un espacio privilegiado para identificar tempranamente problemas nutricionales, promover hábitos saludables y conectar a niñas, niños y adolescentes con servicios de salud. Sin embargo, el monitoreo nutricional escolar suele depender de mediciones esporádicas, consolidados tardíos y reportes que no siempre permiten actuar dentro del ciclo escolar. Esta debilidad es crítica en Centroamérica, donde coexisten formas de malnutrición por déficit y por exceso, y donde las desigualdades territoriales pueden limitar la continuidad del seguimiento. En la población de 5 a 19 años, Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) reporta que la prevalencia global de sobrepeso casi se duplicó entre 2000 y 2022 en los grupos de 5 a 9 años, 10 a 14 años y 15 a 19 años, con aumentos de 11% a 21%, 12% a 21% y 9% a 16%, respectivamente [1], [2].

La doble carga nutricional exige sistemas capaces de medir, clasificar, interpretar y activar respuestas escolares. Las estimaciones conjuntas de UNICEF, Organización Mundial de la Salud (OMS) y Banco Mundial (BM) enfatizan que el progreso mundial frente a las metas de malnutrición infantil es insuficiente y que las brechas de disponibilidad de datos dificultan el monitoreo regular de avances nacionales y regionales [3]. En este contexto, la vigilancia nutricional no puede limitarse a una fotografía anual. La OMS plantea que los datos administrativos ayudan a llenar vacíos críticos, permiten monitoreo en tiempo real, identifican áreas con alta malnutrición, evalúan cobertura de servicios y producen insumos para planificación y corrección de programas [4].

En Guatemala, la coexistencia de retraso en talla en menores de 5 años y sobrepeso u obesidad en mujeres del mismo hogar ha permanecido entre 13.4% y 18.2% desde 1995 hasta 2018/19, lo que evidencia la persistencia de la doble carga intrahogareña en países centroamericanos en transición nutricional [6]. En Honduras, la Encuesta Nacional de Demografía y Salud (ENDESA/MICS) 2019 informa el sobrepeso en menores de cinco años, pero no ofrece estimaciones antropométricas específicas para la edad escolar; esta brecha de información es, en sí misma, un argumento a favor de la vigilancia escolar. Esta evidencia refuerza la necesidad de sistemas de vigilancia capaces de detectar simultáneamente déficit y exceso dentro de una misma comunidad escolar [7], [7].

Este artículo propone una innovación educativa y sanitaria: un sistema digital de vigilancia nutricional escolar basado en un dashboard y un modelo de intervención por escuelas centinela. El producto esperado no es únicamente una plataforma informática. Es una metodología de gestión que integra medición antropométrica, observación del entorno alimentario, reglas de priorización, acciones educativas, referencia sanitaria y seguimiento de alertas. La propuesta se alinea con los marcos de alimentación escolar de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), que reconocen el potencial de las escuelas para mejorar dietas, educación alimentaria, entornos saludables y vínculos con sistemas alimentarios locales [8]. También se articula con el enfoque de escuelas promotoras de salud, en el cual la escuela fortalece su capacidad como espacio saludable para vivir, aprender y trabajar [9].

La contribución principal es un modelo operativo replicable

para Centroamérica, diseñado para municipios, redes educativas y equipos sanitarios que necesitan priorizar recursos limitados. El artículo presenta el diseño del dashboard, los indicadores mínimos, un modelo de intervención escolar, una simulación operativa y cuatro figuras estadísticas. Las cifras de simulación se declaran explícitamente como escenarios sintéticos para diseño y planificación, no como resultados de una intervención real.

II. Marco conceptual

A. Escuela como punto de entrada sanitario y educativo

La vigilancia nutricional escolar tiene valor porque aproxima el sistema de salud a poblaciones que no siempre consultan de forma preventiva. Las normas globales de escuelas promotoras de salud impulsadas por OMS y la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Tecnología (UNESCO) sostienen que educación y salud son interdependientes, y que los programas integrales de salud y nutrición escolar pueden mejorar bienestar, asistencia y aprendizaje [10].

Schultz y Ruel-Bergeron destacan que los programas de salud y nutrición escolar requieren indicadores seleccionados en función de un marco lógico, y que el monitoreo debe incluir insumos, procesos, productos, resultados e impacto para permitir programación adaptativa [11]. Este principio es central en el diseño propuesto. Un tablero escolar que solo muestre prevalencias tiene valor descriptivo, pero no necesariamente mejora la respuesta. Por ello, el sistema integra indicadores de cobertura, calidad, oportunidad y cierre de alertas, de modo que la información se convierta en acción verificable.

B. Alimentación escolar, entorno alimentario y sostenibilidad

Los programas de comidas escolares tienen una función educativa, nutricional y social. El Programa Mundial de Alimentos describe la alimentación escolar como un instrumento de política pública que conecta protección social, educación, nutrición y sistemas alimentarios, y reporta su seguimiento global mediante la publicación *State of School Feeding Worldwide* [12]. Para Centroamérica, un sistema digital de vigilancia puede agregar valor al permitir que cada escuela relacione la situación nutricional de sus estudiantes con el entorno alimentario, la asistencia, las compras escolares y la respuesta de salud.

La sostenibilidad del modelo depende de su simplicidad operativa. La propuesta evita capturar variables imposibles de mantener en escuelas con baja conectividad. Los formularios se limitan a datos esenciales, funcionarían con carga diferida y un tablero que prioriza decisiones.

C. Clasificación antropométrica y reglas de alerta

Para escolares y adolescentes, el cálculo de indicadores debe basarse en referencias antropométricas apropiadas por edad y sexo. La OMS dispone de datos de referencia para 5 a 19 años que incluyen índice de masa corporal (IMC) para la edad, talla para la edad y peso para la edad en los grupos aplicables [13]. La referencia OMS 2007 complementa los estándares de crecimiento infantil de 0 a 60 meses y permite evaluar delgadez, sobrepeso, obesidad y retraso en talla durante la edad escolar [14]. El dashboard propuesto usa estas referencias como base técnica, pero no emite diagnósticos clínicos definitivos. Su función es detectar alertas y activar rutas de confirmación, consejería y referencia; los indicadores mínimos se muestran en la Tabla I. La medición seguirá procedimientos estandarizados como los de COSI [15]: balanza digital y estadiómetro calibrados (precisión de 0.1 kg y 0.1 cm), estudiante descalzo y con ropa ligera, dos mediciones por variable (una tercera si difieren más de 0.1 kg o 0.5 cm), edad calculada con fechas exactas y personal estandarizado. Los valores con IMC para la edad fuera de ±5 DE o talla para la edad fuera de ±6 DE se marcarán como implausibles; el peso para la edad solo se usará hasta los 10 años [13].

TABLA I
INDICADORES MÍNIMOS DEL DASHBOARD DE VIGILANCIA NUTRICIONAL ESCOLAR

Dimensión	Indicador operativo	Frecuencia	Uso
Cobertura	Estudiantes tamizados / matrícula (%)	Mensual	Brechas de medición
Estado nutricional	IMC para la edad por categoría (%)	Mensual	Doble carga nutricional
Crecimiento	Talla para la edad < -2 DE (%)	Trimestral	Rezago crónico
Entorno	Índice de alimentos saludables (0 a 100), provisional	Trimestral	Oferta escolar
Gestión	Alertas cerradas en 30 días (%)	Mensual	Respuesta operativa

D. Dashboards de vigilancia nutricional

Una revisión sistemática de dashboards de sistemas alimentarios y nutricionales, evaluó 13 tableros públicos con 48 métricas de integridad, completitud, granularidad, calidad de visualización e interactividad, organizadas en cuatro principios (evidencia, eficiencia, énfasis y ética), y señaló que faltaba una evaluación integral de estas plataformas [16]. El dashboard propuesto en este estudio incorpora varios de estos criterios, particularmente la visualización interactiva por niveles (municipal, escolar), la actualización mensual y la posibilidad de filtrado territorial. La sección V-F compara la propuesta con soluciones existentes.

III. Materiales y métodos

A. Diseño del estudio tecnológico

Se desarrolló un estudio de diseño tecnológico con simulación operativa. La unidad funcional del sistema es la escuela. La unidad analítica primaria es el estudiante tamizado, pero el dashboard prioriza decisiones a nivel de aula, escuela, municipio y red territorial. El diseño se orientó a

tres preguntas: qué indicadores mínimos permiten vigilancia nutricional escolar accionable, cómo debe estructurarse un modelo de intervención para convertir datos en acciones, y qué mejoras operativas podrían esperarse en cobertura, latencia y cierre de alertas bajo un escenario digital. Se distinguen cuatro niveles de madurez: arquitectura conceptual, maqueta de interfaz, funciones implementadas y funciones de despliegue futuro; este artículo presenta los dos primeros, sin funciones implementadas ni pruebas de software.

La propuesta no utiliza datos nominales reales, para validar la lógica del tablero se generaron escenarios sintéticos de 24 escuelas, cuatro conglomerados territoriales y 12 meses de seguimiento. Esta decisión metodológica permite evaluar visualización, reglas de priorización y consistencia del flujo sin exponer datos personales. Los valores de cada escenario se definieron como parámetros ilustrativos dentro de rangos plausibles, sin contrastarlos con datos observados: cobertura de 38% a 98% y riesgo de 41 a 90; 8.8 a 30.6 alertas por 100 estudiantes tamizados, con gradiente de lo urbano a lo rural indígena y alertas pendientes con cierre lineal de unos 3.75 puntos porcentuales mensuales en el proceso convencional y geométrico de alrededor de 16.5% mensual en el digital. Las diferencias entre escenarios son, por construcción, supuestos y no resultados de evaluación; las reglas de generación y los parámetros por escuela se pondrán a disposición como material suplementario.

La metodología sigue el marco de "Design Science Research Methodology" (DSRM) propuesto por Peffers et al., que establece seis fases: identificación del problema y motivación, definición de objetivos, diseño y desarrollo, demostración, evaluación y comunicación [17]. En este estudio, las fases de demostración y evaluación se realizan mediante simulación operativa, mientras que la evaluación empírica completa se reserva para un piloto posterior.

B. Flujo de datos del dashboard

El flujo operativo inicia con la matrícula escolar activa. En cada ciclo mensual, el equipo capacitado registra peso, talla, edad, sexo, grado y asistencia. El sistema calcula indicadores antropométricos mediante las referencias OMS correspondientes, marca valores extremos para revisión y produce una clasificación preliminar. En paralelo, el comité escolar registra variables agregadas del entorno alimentario, disponibilidad de agua, actividades educativas y seguimiento de casos. El tablero consolida estos datos en cuatro vistas: cobertura, estado nutricional, entorno escolar y gestión de alertas.

La calidad de datos se controla con reglas simples: edad compatible con grado, talla y peso dentro de rangos plausibles, duplicados por identificación escolar, fecha de medición válida y completitud mínima por aula. Los registros no concluyentes se devuelven a revisión antes de ser agregados al panel municipal. La salida principal es una lista priorizada de escuelas y estudiantes que requieren acciones educativas, familiares o sanitarias.

C. Puntaje de riesgo escolar

El dashboard asigna a cada escuela un puntaje compuesto de riesgo nutricional, expresado de 0 a 100. El puntaje combina proporción de alertas antropométricas, exposición a entorno alimentario no saludable, ausentismo asociado a salud y latencia en cierre de alertas. Cada componente se normaliza en una escala común para evitar que una variable domine el índice por su unidad de medida. La formulación general es (1):

$$R_e = 100 \times (0.35\ A_e + 0.25\ E_e + 0.20\ C_e + 0.20\ L_e) \quad (1)$$

Donde Re es el riesgo compuesto de la escuela e, Ae representa alertas antropométricas normalizadas, Ee representa exposición del entorno alimentario, Ce captura continuidad escolar y ausentismo, y Le mide latencia o falta de cierre de alertas. Todos los componentes toman valores en [0, 1] y valores mayores indican mayor riesgo: Ae = min(1, a/0.30), con a como proporción de tamizados con IMC para la edad < −2 o > +1 DE, o talla para la edad < −2 DE; Ee = 1 − H/100, con H como índice de alimentos saludables; Ce = min(1, d/0.10), con d como proporción de días-alumno perdidos por motivos de salud, y Le como proporción de alertas abiertas a los 30 días. Los topes 0.30 y 0.10 son provisionales. H se basaría en ítems observables (agua segura, frutas y verduras, venta de bebidas azucaradas y ultraprocesados, cumplimiento del menú escolar), con validez y confiabilidad por establecer; hasta entonces, Ee se reportará aparte y su peso se redistribuirá proporcionalmente. Un componente faltante no se imputa como cero: la escuela se marca con riesgo de información y Re se recalcula con los componentes disponibles si hay al menos tres. Por ejemplo, (Ae, Ee, Ce, Le) = (0.20, 0.30, 0.25, 0.30) produce Re = 25.5 (bajo); (0.50, 0.55, 0.45, 0.50), 50.3 (medio), y (0.75, 0.60, 0.55, 0.70), 66.3 (alto). Los pesos son configurables por país o municipio, pero deben documentarse antes de la implementación para evitar ajustes oportunistas.

Los pesos iniciales son parámetros de diseño provisionales seleccionados por los autores; no proceden de un procedimiento formal de elicitación de expertos. Se asignó mayor peso a las alertas antropométricas (0.35) por representar el indicador más directamente vinculado con el estado nutricional individual. Un análisis de sensibilidad analítico muestra que trasladar 0.05 de peso entre dos componentes modifica Re en 100 × 0.05 × (Xi − Xj), es decir, en no más de 5 puntos. Solo pueden cambiar de categoría las escuelas situadas a menos de 5 puntos de los umbrales de 45 o 60, cerca de la mitad de las simuladas (alrededor de 12 de 24); por ello, el tablero debería mostrar una banda de ±5 puntos. Con datos reales, el análisis de componentes principales solo servirá para explorar la estructura de varianza, no para fijar importancia decisional; la ponderación definitiva debería

surgir de un análisis de decisión multicriterio con actores y validarse frente a desenlaces operativos. Podría añadirse un componente adaptativo, como la detección de anomalías en alertas y ausentismo mediante gráficos EWMA o la reestimación de pesos con datos del piloto, no implementado ni evaluado en este trabajo.

D. Modelo de intervención escolar

El modelo de intervención opera en cinco fases. La preparación define escuelas centinela, capacitación y acuerdos intersectoriales. La línea base establece cobertura y riesgo inicial. La fase de intervención combina educación nutricional, acciones sobre entorno alimentario, referencia a servicios y seguimiento familiar. La fase de ajuste revisa calidad, equidad y respuesta por subgrupos. Finalmente, la escala transfiere el modelo a nuevas escuelas con apoyo municipal o regional, como se muestra en la Tabla II.

TABLA II
MODELO DE INTERVENCIÓN ESCOLAR

Fase	Meses	Actividad núcleo	Producto
Preparación	0 a 2	Escuelas centinela, capacitación y protocolo	Instrumentos listos
Línea base	3	Tamizaje y carga inicial	Tablero activo
Intervención	4 a 8	Educación, referencia y seguimiento familiar	Alertas asignadas
Ajuste	9 a 10	Revisión de calidad y equidad	Informe operativo
Escala	11 a 12	Expansión gradual y transferencia	Manual replicable

IV. RESULTADOS

A. Contexto estadístico de la doble carga nutricional

La Fig. 1 sintetiza la tendencia global reportada por UNICEF [1], [6] para población de 5 a 19 años. Aunque no representa una serie centroamericana específica, muestra la transición nutricional que justifica sistemas escolares de vigilancia capaces de identificar tanto déficit como exceso. El incremento simultáneo en los grupos de 5 a 9, 10 a 14 y 15 a 19 años obliga a que los sistemas escolares no se limiten a intervenciones alimentarias generales. Deben incluir medición periódica, segmentación por edad y sexo, y acciones diferenciadas para delgadez, retraso en talla, sobrepeso y obesidad.

B. Priorización escolar mediante tablero

La Fig. 2 presenta una simulación de 24 escuelas. Cada punto representa una escuela, el eje horizontal corresponde a cobertura de tamizaje y el eje vertical al puntaje de riesgo. La representación permite distinguir escuelas con alto riesgo y baja cobertura, que deben recibir supervisión inmediata, de escuelas con alta cobertura, pero riesgo elevado, donde el problema no es medir sino actuar. Este enfoque reduce la posibilidad de usar el promedio municipal como única señal de decisión, lo cual puede ocultar focos escolares de mayor vulnerabilidad. La Fig. 2 es una visualización exploratoria: sus líneas de referencia (cobertura de 75% y riesgo de 60) coinciden con los umbrales, pero los colores de los marcadores reflejan una tipología preliminar de diseño y no la regla de decisión. Al aplicar a las escuelas E01, E08 y E11 (riesgo ≥ 60) pasan a prioridad alta, y E17 y E18 (riesgo < 45 con cobertura < 75%) a prioridad media.

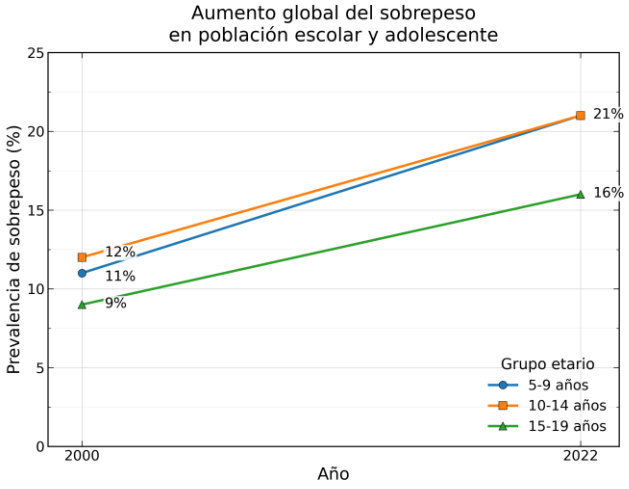


Fig. 1 Tendencia global de prevalencia de sobrepeso en población escolar y adolescente, 2000–2022. La prevalencia se presenta para tres grupos etarios: 5–9 años (11% a 21%), 10–14 años (12% a 21%) y 15–19 años (9% a 16%). Los datos corresponden a estimaciones globales y no representan una serie centroamericana específica. Fuente: elaboración propia con datos de UNICEF [1].

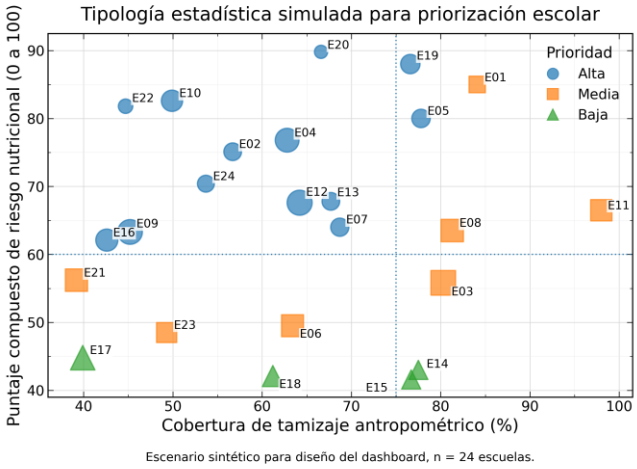


Fig. 2 Tipología simulada de priorización escolar (n=24). Cada punto representa una escuela; el eje horizontal corresponde a la cobertura de tamizaje (%) y el eje vertical al puntaje de riesgo compuesto (ecuación 1). El tamaño del punto es proporcional a la matrícula relativa. Las líneas discontinuas delimitan los umbrales operativos: cobertura del 75% y riesgo de 60 (escala 0 a 100). Los cuadrantes resultantes distinguen escuelas que requieren supervisión inmediata (alto riesgo, baja cobertura), intervención activa (alto riesgo, alta cobertura), fortalecimiento de medición (bajo riesgo, baja cobertura) y mantenimiento (bajo riesgo, alta cobertura). Los colores muestran una tipología preliminar.. Datos sintéticos generados para validación del diseño.

El diseño prevé evaluar la priorización por separado según sexo, edad y zona para detectar sesgos de clasificación; esta verificación se realizará con datos del piloto, ya que el escenario sintético no incluye resultados desagregados

trazables. Esta desagregación es esencial para que el sistema no oculte disparidades de género bajo promedios escolares.

C. *Alertas mensuales y vigilancia centinela*

La Fig. 3 muestra un mapa de calor sintético con tasas mensuales de alertas por 100 estudiantes tamizados en cuatro conglomerados escolares; los valores oscilan entre 8.8 en el conglomerado urbano y 30.6 en el rural indígena, con un gradiente territorial más marcado que la variación mensual. La utilidad del gráfico no reside en estimar prevalencias reales, sino en demostrar cómo el dashboard puede identificar acumulación temporal y territorial de alertas. En un sistema operativo, este tipo de visualización permitiría programar brigadas, reforzar consejería y evaluar si las acciones escolares reducen alertas en los meses siguientes.

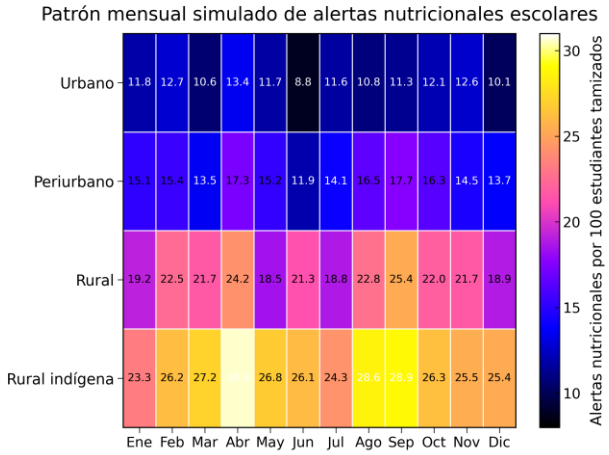


Fig. 3 Mapa de calor mensual de alertas nutricionales por conglomerado territorial (datos simulados). Se presenta la tasa de alertas por cada 100 estudiantes tamizados durante 12 meses en cuatro conglomerados: urbano, periurbano, rural y rural indígena. La escala cromática transita del negro y el azul (menor densidad) al amarillo (mayor densidad). El patrón dominante es territorial, con tasas crecientes de lo urbano a lo rural indígena; los valores mensuales más altos aparecen en abril, agosto y septiembre, sin una estacionalidad consistente entre conglomerados. La utilidad del gráfico reside en demostrar cómo el dashboard puede identificar concentración temporal y territorial para programar intervenciones focalizadas.

D. *Escenarios operativos ilustrativos*

La Fig. 4 compara una trayectoria convencional de cierre de alertas con un escenario digital basado en tablero, asignación de responsables y seguimiento mensual. En la simulación, el escenario digital reduce más rápido las alertas pendientes porque así fue parametrizado, bajo el supuesto de que el tablero visibiliza casos no cerrados, genera listas de trabajo y permite supervisión municipal. Al mes 12 permanecen pendientes 55% de las alertas en el proceso convencional y 11.5% en el escenario digital, es decir, un cierre acumulado de 45% y 88.5%, respectivamente. Esta métrica acumulada difiere del indicador de la Tabla III, que corresponde a alertas cerradas dentro de los 30 días posteriores a su emisión. Esta diferencia debe interpretarse como hipótesis operativa para un piloto, no como efecto causal demostrado. Los parámetros ilustrativos de ambos escenarios se resumen en la Tabla III.

E. *Maqueta del dashboard*

La Fig. 5 presenta una maqueta de alta fidelidad del dashboard de vigilancia nutricional escolar, denominado Observatorio Escolar de Nutrición - Centroamérica. La interfaz se organiza en una barra lateral de navegación con cinco módulos (resumen, territorios, escuelas, alertas e intervención) y una zona principal de contenido con filtros contextuales por país, periodo, nivel educativo y fecha de actualización. La maqueta es una representación visual del diseño: no corresponde a software implementado y sus valores no se derivan de los escenarios de las Fig. 2 a 4 ni de la Tabla III.

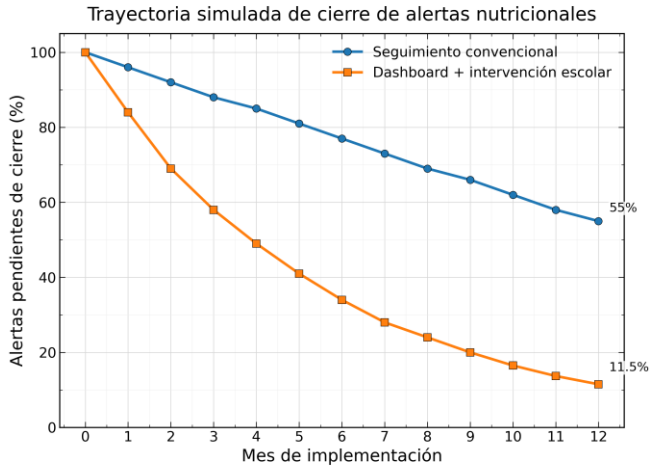


Fig. 4 Trayectoria simulada de cierre de alertas nutricionales bajo dos estrategias de seguimiento durante 12 meses. La línea discontinua representa el proceso convencional (registros en papel, consolidación tardía), que conserva 55% de alertas pendientes al mes 12 (45% de cierre acumulado). La línea continua representa la estrategia basada en dashboard digital con asignación de responsables y seguimiento mensual, que conserva 11.5% de alertas pendientes en el mismo periodo (88.5% de cierre acumulado). La diferencia debe interpretarse como hipótesis operativa derivada de la simulación, no como efecto causal demostrado. El eje vertical expresa el porcentaje de las alertas iniciales que permanece pendiente; esta métrica acumulada es distinta del cierre dentro de 30 días de la Tabla III.

TABLA III
PARÁMETROS ILUSTRATIVOS DE LOS ESCENARIOS CONVENCIONAL Y DIGITAL

Métrica	Convencional	Dashboard	Diferencia supuesta
Cobertura de tamizaje (%)	68.0	90.0	+22.0
Latencia de carga (días)	21.0	3.0	-18.0
Alertas cerradas en 30 días (%)	38.0	76.0	+38.0
Reporte mensual oportuno (%)	45.0	88.0	+43.0
Referencia documentada (%)	30.0	70.0	+40.0

Nota: valores fijados por los autores como supuestos de escenario; no son resultados medidos ni salidas de un modelo mecanístico.

El panel superior despliega cinco indicadores clave de rendimiento con valores ficticios: escuelas activas en el sistema (n=32), estudiantes tamizados (18.4 mil), proporción de riesgo alto (14.8%), tasa de cierre de alertas en 30 días (81%) y tiempo promedio de respuesta (2.6 días). Cada

indicador incluye la variación respecto al trimestre anterior, lo que permite evaluar tendencia operativa sin necesidad de consultar reportes históricos. Estos valores son marcadores de posición de la maqueta y no coinciden con la Tabla III (por ejemplo, 81% frente a 76% de cierre en 30 días), porque no se derivaron de los escenarios simulados.

La zona central integra cinco visualizaciones: tendencia de sobrepeso por grupo etario, mapa de calor de alertas, matriz de priorización, ranking de las escuelas con mayor carga de alertas y trayectoria de cierre. Todas usan datos ficticios propios de la maqueta, con escalas distintas de las de las Fig. 1 a 4 (alertas por 1,000 estudiantes, riesgo de 0 a 1 y umbral de cobertura de 50%) y una tendencia de sobrepeso hasta 2025 que no procede de UNICEF ni de una serie regional; sus valores no deben compararse con las figuras de resultados.



Fig. 5 Maqueta de alta fidelidad del dashboard del Observatorio Escolar de Nutrición - Centroamérica. El panel integra cinco indicadores clave de rendimiento (escuelas activas, estudiantes tamizados, proporción de riesgo alto, tasa de cierre de alertas en 30 días y tiempo de respuesta), una tendencia regional de sobrepeso por grupo etario, un mapa de calor de intensidad mensual de alertas por conglomerado territorial, una matriz de priorización escolar por cobertura y riesgo compuesto, un ranking de escuelas con mayor carga de alertas y una comparación de velocidad de cierre entre proceso convencional y estrategia digital.

V. Discusión

La propuesta desplaza la vigilancia nutricional escolar desde un enfoque documental hacia un modelo de gestión continua. Su valor no está en digitalizar formularios existentes, sino en reorganizar la toma de decisiones. El dashboard integra cobertura, riesgo, entorno alimentario y cierre de alertas. Esto permite que autoridades educativas y sanitarias distingan entre escuelas sin datos suficientes, escuelas con riesgo alto y escuelas con respuesta insuficiente. Esta distinción es crítica porque cada problema demanda una acción distinta.

Como innovación educativa, el sistema crea retroalimentación para docentes, directores y familias. La información nutricional deja de ser un reporte externo y se convierte en insumo para actividades pedagógicas, compras escolares, educación alimentaria y seguimiento de asistencia. Como innovación sanitaria, podría permitir una vigilancia territorial de baja complejidad, vinculada con el primer nivel de atención. La OMS reconoce que los sistemas administrativos pueden apoyar monitoreo regular, planificación y corrección de programas, por lo que una capa escolar interoperable puede fortalecer la vigilancia nutricional sin esperar encuestas de gran escala [4].

No obstante, la digitalización puede ampliar inequidades si se implementa sin considerar conectividad, alfabetización digital y capacidades locales. La literatura reciente sobre innovaciones digitales en países de ingresos bajos y medios enfatiza la importancia de investigación incorporada al desarrollo, alianzas locales, evaluación continua y sensibilidad al contexto [18]. Por ello, el modelo propone funcionamiento con carga diferida, formularios breves, capacitación escolar y revisión periódica de calidad. El sistema debe ser simple antes de ser sofisticado.

A. Diseño funcional del dashboard

El dashboard se concibe como una capa de inteligencia operativa, no como un expediente clínico. Su unidad principal de decisión es la escuela, aunque conserva rutas seguras para seguimiento individual cuando exista una alerta que requiera valoración por personal autorizado. La pantalla municipal debe mostrar cobertura de tamizaje, distribución del estado nutricional, entorno alimentario, ausentismo y estado de las alertas. En la escuela, la visualización debe ser más simple, con una lista de acciones pendientes y mensajes de orientación educativa. Esta separación reduce la sobrecarga cognitiva y evita que docentes o directores reciban información que no corresponde a su rol.

La solución puede operar con conectividad intermitente mediante captura local, validación en el dispositivo y sincronización diferida. Este enfoque es importante en territorios rurales, donde la ausencia temporal de Internet no debe detener el tamizaje. El sistema debe registrar metadatos mínimos de calidad, como fecha de medición, grado, edad, sexo, responsable del registro y estado de validación. Las reglas automáticas deben marcar edades inconsistentes, medidas extremas, duplicados y registros incompletos. La interoperabilidad puede resolverse al inicio con exportaciones agregadas en formatos abiertos, antes de avanzar hacia interfaces de programación más complejas. Esta estrategia incremental busca reducir el costo de entrada y facilitar la adopción institucional, aunque ninguna de estas funciones de sincronización, seguridad o interoperabilidad ha sido probada todavía.

B. Modelo de intervención escolar

El modelo de intervención combina vigilancia, educación y referencia. En el primer nivel, las escuelas con riesgo bajo

reciben educación alimentaria grupal, revisión del entorno escolar y seguimiento mensual. En el nivel medio, el equipo docente activa consejería breve, revisa prácticas de compra escolar y comunica a la familia la necesidad de seguimiento. En el nivel alto, se solicita revisión de aula, visita familiar o coordinación con servicios de salud según disponibilidad local. Además, cualquier estudiante con señales clínicas de alarma, delgadez severa o pérdida acelerada de peso sigue una ruta individual de protección y referencia, independiente de la categoría de su escuela (Tabla IV): una alerta individual no convierte a la escuela en crítica ni puede diluirse en su promedio. Los casos individuales se incorporan a los indicadores agregados solo como proporciones anonimizadas, lo que evita señalar a escuelas o estudiantes. Este diseño evita que el tablero se limite a clasificar escuelas, porque cada categoría se asocia con una respuesta institucional concreta.

La intervención debe integrarse a actividades escolares existentes para no crear una carga paralela. Las mediciones pueden programarse por ciclos mensuales o trimestrales, de acuerdo con capacidad local. La educación nutricional debe vincularse con contenidos de ciencias, vida saludable, compras escolares, huertos, actividad física y participación familiar. La FAO destaca que los programas de alimentación y nutrición escolar pueden mejorar dietas, prácticas alimentarias y entornos saludables cuando se diseñan de forma integral [8]. Por ello, el tablero propuesto no sustituye la pedagogía nutricional, sino que la focaliza y la hace verificable.

C. Viabilidad tecnológica y sostenibilidad

Desde una perspectiva de innovación y negocio público, el producto esperado debe operar como infraestructura compartida para educación y salud. La sostenibilidad depende de cuatro decisiones: usar componentes de bajo costo, mantener formularios breves, capacitar usuarios locales y generar reportes que sean útiles para la toma de decisiones. Un modelo regional podría ofrecer un núcleo común, con catálogos nacionales de escuelas, parámetros de referencia, roles de usuario y reportes agregados. Sobre ese núcleo, cada país o municipio podría configurar ciclos de medición, umbrales operativos y rutas de referencia. Esta modularidad permite economías de escala sin imponer una solución rígida.

Un tablero escolar podría añadir valor a programas existentes al medir no solo entrega de alimentos, sino cobertura de mediciones, entorno alimentario y cierre de alertas. Es plausible que el costo marginal de agregar analítica a un programa escolar sea menor que el de crear un sistema sanitario independiente, pero esta hipótesis exige un modelo de costo total de propiedad que incluya dispositivos, balanzas y estadiómetros, alojamiento, conectividad, capacitación, mantenimiento, soporte, seguridad y tiempo del personal, no estimado en este trabajo. La innovación no debe medirse solo por sofisticación algorítmica, sino por continuidad operativa, gobernanza y capacidad de aprendizaje institucional.

Desde una perspectiva de interoperabilidad, el diseño del dashboard debería contemplar la adopción progresiva de estándares de datos sanitarios como HL7 FHIR para intercambio de información individual con el primer nivel de atención, y la compatibilidad con plataformas como DHIS2, adoptada por ministerios de salud de numerosos países de ingresos bajos y medios, cuyas fortalezas técnicas coexisten con desafíos operativos de infraestructura, capacidad y financiamiento [19]. La integración con estos ecosistemas reduciría la fragmentación de datos y facilitaría la trazabilidad entre el sistema educativo y el sanitario

D. Gobernanza de datos y equidad

La protección de datos debe incorporarse desde el diseño. Los paneles públicos no deben mostrar estudiantes identificables ni listados nominales. Los reportes municipales deben operar con agregación por escuela, grado, sexo y periodo, mientras que el seguimiento individual debe quedar restringido a personal autorizado. El puntaje de riesgo no debe convertirse en etiqueta permanente para una escuela o estudiante. Debe funcionar como una señal temporal de apoyo y priorización de recursos. Las reglas de clasificación requieren auditoría periódica para detectar sesgos por sexo, zona, idioma, conectividad o tamaño de matrícula.

Las innovaciones digitales en sistemas de salud con recursos limitados pueden ampliar la cobertura, pero también reproducir inequidades si no se consideran alfabetización digital, acceso tecnológico e infraestructura local [18]. En vigilancia nutricional escolar, esto implica que una escuela con baja conectividad no debe aparecer como menos prioritaria solo porque reporta menos datos. El sistema debe distinguir entre riesgo nutricional y riesgo de información. La cobertura de tamizaje, la oportunidad de carga y la completitud de datos deben analizarse como indicadores de equidad operativa, no como simples métricas administrativas.

Antes de la implementación, el marco legal y ético nacional aplicable debe determinar el proceso de autorización o consentimiento adecuado para el tamizaje, el tratamiento de datos, la referencia y la investigación. La información a las familias debe especificar claramente qué datos se recopilan, quién tiene acceso, con qué fines se procesan y cómo se pueden ejercer derechos de rectificación o eliminación. En contextos donde la alfabetización es limitada, la información debe complementarse con sesiones informativas presenciales en lengua materna. Todo piloto de investigación con menores identificables requerirá revisión por un comité de ética, permiso de padres o tutores y asentimiento del estudiante cuando corresponda.

E. Plan de validación

La validación empírica debe realizarse mediante un piloto controlado por fases. En la fase inicial se recomienda seleccionar escuelas centinela con diversidad territorial, urbana, periurbana, rural e indígena, sin pretender

representatividad nacional. Como una comparación antes-después no permite separar el efecto del tablero de las tendencias seculares, el calendario escolar, la estacionalidad, el aprendizaje del personal o los programas concurrentes, se propone un diseño escalonado por conglomerados (stepped-wedge) o, si no fuera factible, una serie temporal interrumpida con escuelas de comparación emparejadas, con énfasis en calidad de datos, cobertura de tamizaje, tiempo de carga, proporción de alertas cerradas y aceptabilidad por docentes, familias y personal sanitario. Los desenlaces primarios preespecificados serán la cobertura de tamizaje (tamizados/matrícula activa), la mediana de latencia de carga (días entre medición y registro), el cierre de alertas a 30 días (alertas cerradas/alertas emitidas) y la referencia documentada (referencias con constancia/alertas que la requieren), con un seguimiento mínimo de un ciclo escolar y análisis mediante modelos mixtos con efectos de escuela y de tiempo. El impacto nutricional requiere periodos de observación más largos y no debe confundirse con mejoras tempranas en gestión. Esta distinción es importante para evitar conclusiones causales prematuras.

También se recomienda evaluar seguridad, usabilidad y carga de trabajo. Un sistema técnicamente correcto puede fracasar si aumenta tareas administrativas sin devolver información útil a la escuela. Las entrevistas breves con docentes, directores y personal de salud permitirían identificar barreras de adopción, interpretabilidad de gráficos, claridad de reglas y confianza en las alertas. La auditoría de calidad antropométrica debe incluir repetición de mediciones en una submuestra, revisión de calibración de equipos y análisis de valores extremos. La evidencia obtenida permitiría ajustar umbrales, simplificar pantallas y definir condiciones mínimas para escalar. Las métricas técnicas del piloto incluirán tasa de éxito de sincronización, tasa de pérdida o conflicto de datos, tiempo de respuesta, requisitos de los dispositivos, disponibilidad del servicio, completitud de tareas por usuario, usabilidad, tiempo de capacitación, calidad de los datos antropométricos y carga de soporte.

TABLA IV
UMBRALES PROPUESTOS PARA ACCIÓN ESCOLAR Y SANITARIA (REGLA ÚNICA DE DECISIÓN)

Nivel	Regla	Acción escolar	Tiempo
Bajo	Riesgo < 45 y cobertura ≥ 75%	Educación grupal y monitoreo	30 días
Medio	Riesgo 45 a 59 o Riesgo < 45 con cobertura < 75%	Revisión de aula y consejería	15 días
Alto	Riesgo ≥ 60 o alertas abiertas en dos ciclos consecutivos	Plan de escuela, revisión de casos y visita familiar	7 días
Ruta individual	Estudiante con señales clínicas, IMC/E < −3 DE o pérdida acelerada de peso	Referencia inmediata del estudiante; no modifica la categoría escolar	24 horas

Nota: la ruta individual se evalúa primero y de forma independiente. Para la escuela, las reglas se aplican en orden (alto, medio, bajo) y la primera que se cumple define una categoría única; una escuela con riesgo ≥ 60 y cobertura < 75% se clasifica como alta y se marca, además, para fortalecer la medición.

F. Comparación con soluciones existentes

La Tabla V compara la propuesta con tres referentes. La iniciativa COSI de la OMS en Europa mide de forma estandarizada peso y talla en escolares y, en varios países, recoge datos del entorno escolar, pero opera por rondas periódicas orientadas a estimar prevalencias, no a gestionar alertas [15]. DHIS2 es una plataforma configurable, con roles de usuario e interoperabilidad, adoptada por ministerios de salud, aunque no constituye por sí misma un modelo escolar de vigilancia nutricional [19]. Los tableros públicos de sistemas alimentarios y nutricionales evaluados por Zhou et al. se orientan a compartir y visualizar información para investigadores y decisores [16]. La novedad de la propuesta no reside en un componente aislado, sino en integrar en la unidad escolar antropometría, entorno alimentario, ausentismo, gestión de alertas y referencia con priorización territorial; esta combinación permanece, por ahora, en fase de diseño.

TABLA V
COMPARACIÓN CON SOLUCIONES EXISTENTES

Dimensión	COSI [15]	DHIS2 [19]	Tableros [16]	Este trabajo
Unidad escolar	S	P	NR	S
Antropometría individual	S	P	N	S
Entorno alimentario	P	NR	P	P
Asistencia y ausentismo	NR	NR	NR	S
Gestión de alertas	N	P	N	S
Seguimiento de referencias	N	P	N	S
Captura sin conexión	NR	S	N	S
Acceso por roles	NR	S	N	S
Priorización territorial	N	P	P	S
Interoperabilidad	NR	S	NR	P
Estado	Implementado en 45 países	Implementado a escala	13 tableros evaluados	Diseño y maqueta; datos sintéticos

Nota: S = sí; P = parcial o configurable; N = no; NR = no reportado en la fuente. Evaluación de los autores; para este trabajo, S indica función diseñada, no implementada ni validada.

G. Limitaciones

Primera, el uso exclusivo de datos sintéticos impide validar la sensibilidad y especificidad del puntaje de riesgo compuesto bajo condiciones reales. Segunda, la simulación asume adherencia completa al protocolo de captura, lo cual no refleja la variabilidad de cumplimiento observada en programas escolares centroamericanos. Tercera, el modelo no incorpora variables socioeconómicas individuales ni indicadores de seguridad alimentaria del hogar, los cuales podrían mejorar la capacidad predictiva del sistema. Cuarta, la validación del entorno alimentario mediante un índice de 0 a 100 requiere un instrumento estandarizado que aún no ha sido piloteado en escuelas centroamericanas. Quinta, las diferencias entre escenarios fueron parametrizadas por los autores y no constituyen estimaciones de efecto. Sexta, la maqueta de la Fig. 5 no es software implementado, y no se han realizado pruebas de rendimiento, sincronización, seguridad, usabilidad ni interoperabilidad.

VI. Conclusiones

La vigilancia digital de la nutrición escolar puede constituir una innovación educativa y sanitaria relevante para Centroamérica si se diseña como un sistema de acción y no únicamente como repositorio de datos. El dashboard propuesto integra indicadores antropométricos, cobertura de tamizaje, entorno alimentario, ausentismo y cierre de alertas. El modelo de intervención escolar organiza esos datos en fases de preparación, línea base, intervención, ajuste y escala. Las visualizaciones, construidas con escenarios sintéticos, ilustran cómo el sistema podría priorizar escuelas, identificar patrones territoriales y temporales y reducir la latencia de respuesta; se trata de hipótesis operativas y no de efectos demostrados. La arquitectura propuesta es técnicamente plausible y está diseñada para escalar con gobernanza intersectorial, siempre que preserve privacidad, simplicidad y auditoría de reglas; su factibilidad técnica y económica y su escalabilidad deberán demostrarse en la implementación piloto. Su validación empírica requiere un piloto en escuelas centinela con evaluación de calidad de datos, aceptabilidad, equidad y resultados de gestión.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo recibido del Instituto de Investigación en Ciencias Médicas y Derecho a la Salud (ICIMEDES) de la Facultad de Ciencias Médicas (FCM) y la Dirección de Investigaciones Científicas, Humanísticas y Tecnológicas (DICIHT) todas ellas de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH).

Referencias

[1] UNICEF, “School-aged children and adolescents,” *UNICEF Data: Child Nutrition*, Sep. 2025. [Online]. Available: https://data.unicef.org/topic/nutrition/school-children-adolescents/. Accessed: May 17, 2026.

[2] [2] The Lancet, "Childhood obesity: A global health crisis," *Lancet*, , vol. 406, no. 10509, p. 1193, Sep. 2025, doi: 10.1016/S0140-6736(25)01906-3.

[3] UNICEF, World Health Organization, and World Bank Group, *Levels and Trends in Child Malnutrition: UNICEF/WHO/World Bank Group Joint Child Malnutrition Estimates, Key Findings of the 2025 Edition*. New York, NY, USA: UNICEF, 2025. [Online]. Available: https://data.unicef.org/resources/jme/. Accessed: May 17, 2026.

[4] World Health Organization, “Strengthening nutrition surveillance,” *WHO Activities*. [Online]. Available: https://www.who.int/activities/strengthening-nutrition-surveillance. Accessed: May 17, 2026.

[5] M. Wolf, M. Mazariegos, O. Cordón, K. Mesarina, M. E. D. Jefferds, O. Y. Addo, and M. Palmieri, "Double burden of malnutrition in Guatemala: Co-existence of childhood stunting and overweight and obesity within the household," *Eur. J. Clin. Nutr.*, Jul. 2025, doi: 10.1038/s41430-025-01638-6.

[6] UNICEF, "Obesity exceeds underweight for the first time among school-age children and adolescents globally," UNICEF Press Release, Sep. 10, 2025. [Online]. Available: https://www.unicef.org/press-releases/obesity-exceeds-underweight-first-time-among-school-age-children-and-adolescents

[7] Instituto Nacional de Estadísticas de Honduras, "Encuesta Nacional de Demografía y Salud ENDESA/MICS 2019", *INE*, Tegucigalpa, Honduras, 2020. Disponible: https://ine.gob.hn/bases-de-datos/

[8] Food and Agriculture Organization of the United Nations, “School food and nutrition,” *FAO*. [Online]. Available: https://www.fao.org/school-food/en/. Accessed: May 17, 2026.

[9] World Health Organization, “Health promoting schools,” *WHO Health Topics*. [Online]. Available: https://www.who.int/health-topics/health-promoting-schools. Accessed: May 17, 2026.

[10] UNESCO, “UNESCO and WHO urge countries to make every school a health-promoting school,” *UNESCO*, Jun. 22, 2021. [Online]. Available: https://www.unesco.org/en/articles/unesco-and-who-urge-countries-make-every-school-health-promoting-school. Accessed: May 17, 2026.

[11] L. Schultz and J. Ruel-Bergeron, “Considerations for monitoring school health and nutrition programs,” *Front. Public Health*, vol. 9, Art. no. 645711, Jul. 2021, doi: 10.3389/fpubh.2021.645711.

[12] World Food Programme, *State of School Feeding Worldwide 2024*. Rome, Italy: WFP, 2025 (2024 edition), doi: 10.71958/wfp130772.

[13] World Health Organization, “Growth reference data for 5–19 years,” *WHO Tools*. [Online]. Available: https://www.who.int/tools/growth-reference-data-for-5to19-years. Accessed: May 17, 2026.

[14] M. de Onis, A. W. Onyango, E. Borghi, A. Siyam, C. Nishida, and J. Siekmann, “Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents,” *Bull. World Health Organ.*, vol. 85, no. 9, pp. 660–667, Sep. 2007, doi: 10.2471/BLT.07.043497.

[15] J. Breda *et al.*, "Methodology and implementation of the WHO European Childhood Obesity Surveillance Initiative (COSI)," *Obes. Rev.*, vol. 22, suppl. 6, Art. no. e13215, 2021, doi: 10.1111/obr.13215.

[16] B. Zhou, S. Liang, K. M. Monahan, G. M. Singh, R. B. Simpson, J. Reedy, et al., "Food and nutrition systems dashboards: A systematic review," *Adv. Nutr.*, vol. 13, no. 3, pp. 748–757, 2022, doi: 10.1093/advances/nmac022.

[17] K. Peffers, T. Tuunanen, M. A. Rothenberger, and S. Chatterjee, "A design science research methodology for information systems research," *J. Manage. Inf. Syst.*, vol. 24, no. 3, pp. 45–77, Winter 2007, doi: 10.2753/MIS0742-1222240302.

[18] S. Yi et al., “Perspectives of digital health innovations in low- and middle-income health care systems from South and Southeast Asia,” *J. Med. Internet Res.*, vol. 26, Art. no. e57612, Nov. 2024, doi: 10.2196/57612.

[19] R. Dehnavieh et al., "The District Health Information System (DHIS2): A literature review and meta-synthesis of its strengths and operational challenges based on the experiences of 11 countries," *Health Inf. Manag. J.*, vol. 48, no. 2, pp. 62–75, 2019, doi: 10.1177/1833358318777713.