

Informe Integral de Investigación y Desarrollo Tecnológico: Ecosistema N4N y Estandarización de la Práctica Clínica Avanzada

1. Introducción: El Imperativo de la Transformación Digital en Enfermería Oncológica

La práctica contemporánea de la enfermería, particularmente en entornos de alta complejidad como la oncología y los cuidados críticos, se enfrenta a una encrucijada fundamental: la necesidad de armonizar el juicio clínico humano con la precisión y escalabilidad de las herramientas digitales. Este informe técnico consolida los hallazgos de investigación, especificaciones arquitectónicas y protocolos clínicos necesarios para el despliegue del ecosistema "Motor N4N" (Nursing for Nursing) y el aplicativo asociado "WoundCare AI". La investigación subyacente identifica una problemática sistémica en el contexto sanitario chileno y latinoamericano: la variabilidad no justificada en el manejo de heridas complejas y la fragmentación de la información clínica, factores que inciden directamente en la seguridad del paciente y la eficiencia operativa.

El análisis exhaustivo de los antecedentes revela que, si bien existen plataformas internacionales como Swift Medical o Tissue Analytics, estas presentan barreras de accesibilidad y costos prohibitivos para el medio local, careciendo además de una adaptación contextual a las realidades del sistema de salud nacional. En consecuencia, el proyecto N4N no solo busca digitalizar el registro, sino redefinir la arquitectura de la decisión clínica mediante un enfoque híbrido que transita desde reglas determinísticas hacia la inteligencia artificial explicable y el Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA). Este documento aborda, con gran profundidad, tanto la infraestructura de software como la "librería de snippets" o notas clínicas estructuradas, diseñadas para estandarizar la narrativa en la ficha clínica electrónica y alimentar los algoritmos con datos de alta fidelidad.

2. Arquitectura Tecnológica y Especificaciones del Sistema WoundCare AI

La viabilidad de cualquier intervención clínica digital reside en la robustez de su arquitectura subyacente. El sistema WoundCare AI ha sido concebido bajo paradigmas de ingeniería de software modernos que priorizan la modularidad, la seguridad y la interoperabilidad, elementos críticos para su integración en ecosistemas hospitalarios heterogéneos.

2.1 Estrategia de Diseño de Software y Patrones Arquitectónicos

El análisis de la documentación técnica del proyecto revela una decisión estratégica de alejarse

de las arquitecturas monolíticas tradicionales, que suelen convertirse en "cuellos de botella" para la innovación, en favor de una arquitectura orientada a microservicios o servicios distribuidos.

2.1.1 Evolución desde el Monolito hacia los Microservicios En las fases iniciales, es común observar sistemas monolíticos donde todas las funciones (autenticación, registro de heridas, análisis de imágenes) conviven en un único despliegue. Sin embargo, la especificación técnica del Motor N4N apunta hacia un desacoplamiento progresivo mediante microservicios. Estos son conjuntos de servicios pequeños e independientes que colaboran a través de APIs bien definidas. Esta aproximación permite que el equipo de desarrollo actualice el módulo de procesamiento de imágenes (por ejemplo, para integrar una nueva librería de visión computacional) sin riesgo de desestabilizar el módulo de admisión de pacientes.

2.1.2 Arquitectura Hexagonal (Ports & Adapters)

Un hallazgo técnico relevante es la adopción del patrón de Arquitectura Hexagonal. Este diseño es fundamental para aplicaciones de salud críticas, ya que aísla la lógica de negocio —el "núcleo" donde residen las reglas clínicas de curación y los algoritmos MCDA— de las tecnologías externas como bases de datos o interfaces de usuario. Esto significa que si el hospital decide cambiar su proveedor de base de datos o migrar de una infraestructura *on-premise* a la nube, las reglas clínicas que gobiernan el cuidado del paciente permanecen intactas y seguras en el centro del hexágono.

2.1.3 Segregación de Responsabilidades (CQRS)

Para manejar la alta carga transaccional esperada en un hospital de referencia como la FALP, el sistema implementa CQRS (Command Query Responsibility Segregation). Este patrón separa las operaciones de escritura (Comandos: registrar una nueva curación) de las de lectura (Consultas: generar un gráfico de evolución de la herida). Esto permite optimizar los modelos de datos para cada propósito; por ejemplo, una base de datos normalizada para asegurar la integridad del registro y una base de datos desnormalizada o de lectura rápida para los tableros de control en tiempo real.

2.2 Ciclo de Vida del Dato: Desde la Captura hasta la Persistencia

El flujo de datos en WoundCare AI, descrito como "end-to-end", garantiza que la información clínica se transforme en conocimiento accionable.

Tabla 1. Fases del Ciclo de Vida del Dato en el Motor N4N ** | Fase | Descripción Técnica y Clínica | Tecnologías Implicadas | | :--- | :--- | :--- || 1. **Captura y Triage | Ingreso guiado tipo *wizard* basado en el acrónimo TIMERS (Tejido, Infección, Humedad, Bordes, Reparación). Incluye fotografía calibrada. | Frontend Web/App, SDK de Cámara. || 2. **Validación** | Reglas de negocio que impiden inconsistencias (ej. área negativa, insumo incompatible). Normalización de formatos. | Middleware de Validación, Reglas JSON. || 3. **Persistencia** | Almacenamiento seguro. Datos estructurados en BBDD relacional; archivos binarios (fotos) en almacenamiento de objetos. | PostgreSQL (Datos), S3/GCS (Imágenes), ORM. || 4. **Decisión** | Procesamiento por motor determinístico (Fase Alfa) o MCDA (Fase Avanzada) para sugerir tratamiento. | Python (pyDecision), Algoritmos AHP/TOPSIS. || 5. **Interoperabilidad** | Sincronización con HIS/EHR institucional para evitar doble registro. | HL7 FHIR (Resources: Encounter, Observation). |

El almacenamiento de datos respeta las propiedades ACID (Atomicidad, Consistencia, Aislamiento, Durabilidad), esenciales para transacciones médicas donde la pérdida de un dato puede tener implicancias legales o vitales.

2.3 Seguridad, Privacidad y Cumplimiento Normativo

Dado el carácter sensible de los datos oncológicos (PHI - Protected Health Information), la seguridad se aborda mediante capas de defensa en profundidad:

1. **Cifrado:** Se utiliza AES-256 para datos en reposo (base de datos y backups) y TLS 1.2+ para datos en tránsito, asegurando que cualquier intercepción de la red sea ilegible.
2. **Gestión de Identidad:** El control de acceso se basa en Roles (RBAC) gestionado mediante tokens JWT (JSON Web Tokens). Esto garantiza que un estudiante de enfermería, un médico tratante y un auditor tengan permisos estrictamente delimitados según su función.
3. **Minimización de Datos:** Siguiendo principios éticos, el sistema recolecta solo los datos estrictamente necesarios para el objetivo asistencial o de investigación, aplicando técnicas de seudonimización en origen para los análisis estadísticos.

3. Lógica Clínica Computacional: Del Determinismo al Análisis Multicriterio

El "cerebro" del sistema N4N evoluciona en complejidad para adaptarse a la realidad no lineal de las heridas crónicas.

3.1 Fase Alfa: Motor Determinístico y Reglas TIMERS

En su etapa inicial, el sistema opera bajo un paradigma determinístico. Esto implica el uso de reglas lógicas auditables y versionadas. La decisión se basa en árboles de decisión claros: *Si* el tejido es necrótico y no hay contraindicación quirúrgica *entonces* sugerir desbridamiento. Esta transparencia evita el efecto de "caja negra" y facilita la confianza del clínico en la herramienta. El sistema utiliza el marco TIMERS para estructurar la entrada de datos, asegurando que ninguna variable crítica (como la carga bacteriana o el estado del borde) sea omitida durante la evaluación.

3.2 Fase Avanzada: Integración de MCDA (Análisis de Decisión Multicriterio)

La evolución del sistema contempla la integración de algoritmos MCDA. En el cuidado de heridas oncológicas, la "mejor" opción no siempre es la que cicatriza más rápido; a menudo, se deben balancear criterios en conflicto como el control del dolor, el manejo del olor, el costo del apósito y la frecuencia de las curaciones. El sistema incorporará librerías como *pyDecision* para ejecutar métodos matemáticos complejos:

- **AHP (Analytic Hierarchy Process):** Para descomponer el problema de decisión en una jerarquía de criterios y alternativas.
- **TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution):** Para identificar la alternativa de tratamiento que está más cerca de la solución ideal positiva y más lejos de la negativa. Estas herramientas matemáticas permiten ponderar variables subjetivas y objetivas, ofreciendo recomendaciones personalizadas y matizadas.

4. Protocolo de Investigación y Metodología de Validación

El desarrollo de N4N se enmarca en un rigoroso protocolo de investigación científica, diseñado para validar tanto la usabilidad tecnológica como el impacto clínico.

4.1 Diseño Metodológico Mixto

La investigación adopta un enfoque mixto, secuencial y pragmático.

- **Fase Cualitativa:** Se centra en mapear los flujos de trabajo actuales y las barreras de adopción. Utilizando entrevistas semiestructuradas y *focus groups* con enfermeros de la Unidad de Paciente Crítico (UPC) y Oncología de la FALP, se busca comprender la "experiencia del usuario" y las necesidades no satisfechas en los protocolos vigentes.
- **Fase Cuantitativa:** Se define como un estudio observacional, prospectivo y exploratorio. El objetivo es medir variables "duras" como el tiempo de enfermería por curación, la reducción en la variabilidad del uso de insumos y la evolución del área de la herida (medida mediante planimetría digital).

4.2 Plan de Análisis Estadístico y Gestión de Datos

Para la recolección de datos de investigación, se utiliza la plataforma REDCap, reconocida por su seguridad y capacidad de auditoría. Los datos operacionales del aplicativo N4N se exportan y conectan con REDCap para el análisis. El plan estadístico contempla el uso de software avanzado (R 4.4 y librerías de Python como *pandas* y *lifelines*) para ejecutar:

- **Análisis Descriptivo:** Caracterización demográfica y clínica de la población (medias, medianas, IC 95%).
- **Análisis Inferencial:** Pruebas t de Student o U de Mann-Whitney para comparar costos y tiempos entre el grupo con manejo tradicional y el grupo guiado por N4N.
- **Análisis de Supervivencia:** Curvas de Kaplan-Meier y modelos de riesgos proporcionales de Cox para evaluar el "tiempo hasta la cicatrización" o "tiempo hasta la mejora de síntomas", ajustando por variables confusoras como edad, ECOG y comorbilidades.

4.3 Consideraciones Éticas

El estudio se adhiere a los principios de la Declaración de Helsinki. Se gestionará el consentimiento informado para la recolección prospectiva de datos. Dado que el sistema actúa como soporte y no reemplaza el juicio clínico, se considera de riesgo mínimo, pero se someterá a la aprobación irrestricta del Comité Ético Científico (CEC) de la institución. La seguridad de los datos está garantizada mediante cifrado y control de acceso, asegurando la confidencialidad de los participantes.

5. Librería Maestra de Snippets Clínicos: Estandarización del Registro de Enfermería

La calidad de los datos que alimentan cualquier sistema de inteligencia sanitaria depende intrínsecamente de la calidad del registro primario. A continuación, se presenta la sistematización y análisis de los "Snippets" o plantillas de evolución clínica. Estas notas no son meros textos, sino estructuras de datos semi-estructuradas que capturan la complejidad del paciente crítico y oncológico.

5.1 Estandarización en Cuidados Críticos y Hemodinamia

El registro en la UPC requiere una precisión milimétrica. Los snippets desarrollados permiten documentar estados de shock y soporte vital avanzado con una nomenclatura uniforme.

5.1.1 Monitorización Hemodinámica Invasiva y Vasoactivos

El snippet para pacientes inestables integra parámetros de monitoreo avanzado (EV1000/FloTrac). Esto es crucial porque permite correlacionar, en análisis futuros, los valores de Índice Cardíaco (IC) o Variación de Volumen Sistólico (VVS) con la perfusión tisular observada.

Análisis del Snippet :

- **Contexto:** Paciente en shock séptico o cardiogénico.
- **Variables Clave:** "PAM sobre 65 mmHg con uso de DVA", "Llene capilar >/< 3 segundos", "Índice de Resistencia Vascular Sistémica (IRVS)".
- **Implicancia:** La distinción explícita entre "pulsos débiles" y "buena perfusión" junto con los valores numéricos del catéter permite auditar la respuesta a la fluidoterapia versus el uso de vasopresores (Noradrenalina/Dobutamina).

5.1.2 Ventilación Mecánica y Weaning

La documentación del soporte ventilatorio se estructura para capturar tanto la configuración del equipo como la interacción paciente-ventilador.

Estructura de Datos Ventilatorios:

- **Modalidad:** (ACVC, PSV, etc.) y parámetros programados (Vt, PEEP, FR).
- **Mecánica Pulmonar:** Presión Pico, Presión Plateau, Compliance (implícito en la monitorización).
- **Vía Aérea:** Número de tubo, fijación, presión del *cuff* (30 cmH₂O para prevenir neumonía asociada a ventilación y lesiones traqueales).
- **Sedación:** Escalas SAS o RASS y uso de bloqueo neuromuscular (TOF).

5.2 Neurocirugía y Manejo de Drenajes Ventriculares

Para pacientes neurocríticos, el registro se centra en la hipertensión endocraneana y el manejo de dispositivos externos.

**Tabla 2. Parámetros de Registro Neurocrítico Estandarizado **

Componente	Variables de Registro (Snippet)	Justificación Clínica
Examen Neurológico	Glasgow, Pupilas (tamaño, simetría, reactividad), Respuesta motora.	Detección precoz de herniación o deterioro rostro-caudal.
DVE (Drenaje Ventricular)	Altura (cm H ₂ O sobre Monro),	Monitorización de PIC y

Componente	Variables de Registro (Snippet)	Justificación Clínica
	Oscilación, Aspecto del LCR (Cristal de roca vs Xantocrómico).	detección de resangrado o infección (ventriculitis).
Posición	Cabecera 30°, Cabeza línea media.	Optimización del retorno venoso y control de la PIC.
Metas Metabólicas	Sodio plasmático, Osmolaridad, Diuresis (Diabetes Insípida).	Prevención de edema cerebral secundario.

5.3 Oncología Quirúrgica Compleja: Cabeza, Cuello y Colgajos

La FALP, como centro oncológico, maneja cirugías reconstructivas de alta complejidad. Los snippets diseñados para "Colgajos Libres" y "Exenteración Orbitaria" son vitales para la vigilancia de la viabilidad tisular.

5.3.1 Protocolo de Vigilancia de Colgajos

El snippet especifica una vigilancia horaria o bi-horaria. Se documentan signos de isquemia arterial (palidez, frialdad, falta de sangrado a la punción) o congestión venosa (color violáceo, sangrado oscuro y rápido, urgencia excesiva).

- **Texto Estandarizado:** "Colgajo rosado, tibio, llene capilar < 3 seg. A la punción sangrado rojo claro".
- **Valor:** Esta estandarización permite que cualquier enfermero, independientemente de su experiencia, sepa exactamente qué parámetros evaluar, reduciendo el riesgo de pérdida del colgajo por detección tardía de complicaciones vasculares.

5.3.2 Manejo de Vía Aérea Artificial (Traqueostomía)

En pacientes con glosectomías o tumores maxilares, la vía aérea es crítica. El registro incluye el tipo de cánula (Shiley/Portex), la permeabilidad de la endocánula y la calidad de las secreciones, asegurando la continuidad de los cuidados respiratorios y la prevención de obstrucciones.

5.4 Enfermería Médico-Quirúrgica y Gestión de Drenajes

Para el postoperatorio general, los snippets cubren desde el dolor hasta la función renal.

- **Drenajes Pleurales:** Se detalla no solo el débito, sino la mecánica del sistema (oscilación, fuga aérea/burbujeo), diferenciando entre un sistema permeable y uno obstruido.
- **Función Renal:** Clasificación precisa de la diuresis (Anúrica <0.1 ml/kg/hr hasta Poliúrica >4 ml/kg/hr), fundamental para el manejo de fluidos en el paciente oncológico propenso a la falla renal por nefrotoxicidad o sepsis.

6. Gestión de la Calidad, Seguridad y Educación Continua

La implementación de N4N y la estandarización de registros no pueden ocurrir en el vacío;

requieren un marco de calidad y capacitación robusto.

6.1 Plan de Mejora en Simulación Clínica

Para asegurar que el personal sea competente en el uso de estas nuevas herramientas y protocolos, se ha diseñado un plan de mejora basado en simulación clínica de alta fidelidad. El análisis de brechas, realizado mediante un diagrama de Ishikawa, identificó causas raíz en la falta de instructores certificados y la ausencia de integración curricular.

- **Objetivo:** Certificar al 30% de los docentes clínicos como instructores internos para finales de 2026.
- **Indicadores de Impacto:** Se medirá el desempeño de los equipos en escenarios de reanimación simulada, evaluando tiempos de respuesta (primera desfibrilación, administración de adrenalina) y habilidades no técnicas (liderazgo, comunicación en bucle cerrado). Esto asegura que la estandarización teórica de los snippets se traduzca en competencia práctica ante situaciones críticas.

6.2 Seguridad en el Proceso de Medicación

Dado que los snippets incluyen el registro de quimioterapia y antibióticos, se refuerza el subproceso de seguridad farmacológica. Se establecen puntos de control (barreras de seguridad) que incluyen la verificación de la indicación médica en la ficha electrónica, la revisión de dosis y compatibilidad, y la validación final antes de la administración. La integración de sistemas informáticos clínicos (como N4N) con la farmacia y los dispensadores automatizados (Pyxis) es clave para cerrar el ciclo de medicación seguro.

7. Roadmap de Implementación y Proyecciones Futuras

La hoja de ruta del proyecto N4N traza un camino claro desde la validación conceptual hasta la operatividad total.

1. **Fase Piloto (Actual):** Despliegue en entorno *cloud* seguro con control de acceso (RBAC) y recolección de métricas basales de proceso. Validación de los snippets en la plataforma REMI.
2. **Interoperabilidad Productiva:** Activación de los conectores HL7 FHIR para la sincronización bidireccional con el HIS institucional.
3. **Evolución a MCDA:** Implementación controlada de los algoritmos multicriterio para la priorización de alternativas de curación, incluyendo análisis de sensibilidad para validar las recomendaciones.
4. **Telemontoreo y Extensión Domiciliaria:** Habilitación de módulos para el seguimiento remoto de pacientes, permitiendo la carga de fotos por parte del paciente o cuidadores bajo protocolos seguros.
5. **Agentes Conversacionales (IA):** Incorporación futura de interfaces de lenguaje natural (LLM controlados) para facilitar la navegación por las guías clínicas y la explicación de las reglas de decisión al personal en formación.

8. Conclusiones

La integración del **Motor N4N** y la **Librería de Snippets Clínicos** constituye una respuesta sistémica y tecnológicamente avanzada a los desafíos de la enfermería oncológica moderna. Al combinar una arquitectura de software resiliente (Microservicios, Hexagonal, Seguridad de grado militar) con una estandarización clínica profunda (Protocolos de UPC, Neurocirugía y Oncología), este proyecto no solo promete mejorar la eficiencia operativa, sino que establece un nuevo estándar de seguridad y calidad en la atención del paciente. La transición de datos no estructurados a información estructurada y, finalmente, a conocimiento algorítmico, posiciona a la institución a la vanguardia de la informática en salud en la región.

La recomendación inmediata es proceder con la capacitación del personal en el uso de los snippets estandarizados mediante los programas de simulación clínica diseñados, asegurando así que el factor humano esté alineado con la sofisticación de la herramienta digital.

Fuentes citadas

1.  Formulario Cualitativo ,
https://drive.google.com/open?id=1CRIkKgHyuZuAkodvzRZJJe11ZuNQs_x98WKVjWyTo-l 2. resumen del proyecto app web,
https://drive.google.com/open?id=1yEr7IJUyi-6En1N_MWZDwempZyQiwdDPpcj6yp_rUn4 3. next level shit nursing evolution 3000,
https://drive.google.com/open?id=1l-w4_5D4nmrVz_p_iPye7ri0EGNJcckuZjRKEifd7dE 4. CUANTITATIVO,
https://drive.google.com/open?id=1x9iteWgj5_UlmLnFV9qf-dfh_i-madvaSn6WVASZwk 5. Formulario cualitativo proyectos de investigación 2025 OK,
<https://drive.google.com/open?id=1m67KwtCJVezKlz8K6mom0wdUCeJbFRs4VpSuDQe5uN8> 6. Documento sin título,
https://drive.google.com/open?id=1oo28kaJYm7jf5of3ZvXBOZ-3_uRUy4g7UQIAMmafRNo 7. TALLER 2 CALIDAD.docx,
<https://drive.google.com/open?id=18T4qKnFHpMvPjRKteG9XgPA30HPynzF8>