

Editorial

Ingeniería para sistemas resilientes: conocimiento, decisiones y transformación

MÓNICA MARCELA SUÁREZ PRADILLA

PhD. M.Sc. Gestión y Valoración Urbana de la Universidad Politécnica de Cataluña. Ing. Civil de la Universidad Nacional de Colombia. Profesora del programa de Ingeniería Civil de la Universidad Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5864-4771> - monica.suarez@escuelaing.edu.co

Cada número de una revista científica es una oportunidad para observar las preguntas que permean la ingeniería en un momento determinado, las herramientas con las que buscamos responderlas y, especialmente, la manera como el conocimiento se transforma en decisiones capaces de incidir en sistemas, infraestructuras y territorios.

En este número 141 de la *Revista de Ingeniería*, reunimos trabajos provenientes de diversos campos que, más allá de sus diferencias temáticas y metodológicas, comparten una preocupación que considero esencial para nuestra profesión: *cómo transformar conocimiento, información y experiencia en decisiones técnicas mejor fundamentadas*.

La ingeniería contemporánea exige ir más allá de la aplicación de procedimientos establecidos. Cumplir una norma, disponer de información o utilizar una determinada tecnología no garantiza, de por sí, una buena solución. Se requiere comprender el problema, reconocer las incertidumbres, evaluar las condiciones particulares del contexto y establecer con claridad las implicaciones de las decisiones adoptadas. Esta perspectiva permite encontrar un hilo conductor entre los trabajos que conforman la presente edición.

El número comienza con tres contribuciones, relacionadas con la *seguridad, el desempeño y la confiabilidad de sistemas e infraestructuras*.

En el artículo “Metodología de verificación del desempeño de sistemas de agua pulverizada en la etapa de diseño para la industria petroquímica” se plantea una cuestión especialmente relevante para la práctica profesional: el cumplimiento normativo constituye una condición indispensable, pero no necesariamente suficiente para garantizar que un sistema responda en forma adecuada ante condiciones reales de operación. En el trabajo se propone una metodología que integra modelos físicos para evaluar tanto la refrigeración de equipos como la dispersión de gases inflamables o tóxicos, complementando así los enfoques prescriptivos utilizados tradicionalmente en el diseño de estos sistemas. Su aporte invita a desplazar la discusión desde el simple cumplimiento hacia la verificación efectiva del desempeño.

En esta misma línea de análisis de la infraestructura, en el texto “Assessment of Railway Live Loads on Buried Pipelines Using API RP 1102: A Case Study for the Colombian Railway Corridor” se estudia la interacción entre cargas ferroviarias y tuberías enterradas, usando como caso de análisis el corredor Yumbo-Buenaventura. A lo largo del trabajo se evalúa el comportamiento estructural frente a cargas ferroviarias pesadas y se identifica la pérdida de espesor de pared como una variable particularmente relevante dentro del análisis de

riesgo. Más allá del caso específico, en la metodología propuesta se ofrecen elementos de interés para otros corredores, donde nuevas infraestructuras ferroviarias deben coexistir con sistemas ya instalados.

La seguridad pasa posteriormente de la escala de la infraestructura a la escala de las personas y de los sistemas de movilidad con “Reconstrucción histórica y escenarios prospectivos de la mortalidad vial en Colombia (1986-2025)”. En este artículo se analizan cuatro décadas de información, se identifican diferentes etapas en la evolución de la mortalidad vial colombiana y se construyen escenarios prospectivos hacia 2030 y 2035. Sus resultados no solamente evidencian la magnitud del desafío que enfrenta el país para avanzar hacia reducciones sostenidas de siniestros, sino también refuerzan la necesidad de consolidar una gestión sistémica de la seguridad vial, basada en seguimiento continuo, evidencia y coordinación entre varios sectores.

Después de este recorrido por problemas asociados con seguridad y desempeño, la edición dirige su atención hacia otra dimensión fundamental de la ingeniería contemporánea: *la gestión de información y la selección de herramientas tecnológicas adecuadas para cada problema*.

En “MySQL y Apache CouchDB: Análisis Comparativo de Sistemas de Gestión de Bases de Datos Relacionales y NoSQL”, se contrastan dos paradigmas de gestión de información considerando aspectos como arquitectura, modelos de datos, concurrencia, seguridad, respaldo, replicación y escalabilidad. Más que establecer una superioridad absoluta entre tecnologías, en el estudio se muestra que cada solución responde de manera diferente a determinados requerimientos y contextos de aplicación.

Esta conclusión trasciende el campo específico de las bases de datos y se conecta con un principio que considero central para la ingeniería: *la mejor solución no es necesariamente la más sofisticada, sino aquella que responde de manera adecuada al problema, al contexto y a las condiciones en las que deberá operar*.

El bloque general de esta edición se completa con “El examen P/1 (Probability): estructura, estadísticas y experiencias de dos candidatos”, artículo en el que se ofrece una contribución que incorpora una perspectiva distinta pero igualmente relevante: la formación y el desarrollo profesional. Así, se presentan las características de uno de los exámenes internacionales básicos de certificación actuarial, se analiza información sobre

sus tasas de aprobación y se recoge la experiencia de dos candidatos que han enfrentado exitosamente este proceso. Además del conocimiento disciplinar, se destacan aspectos asociados con la preparación estratégica, la gestión del tiempo y el desempeño bajo presión, al tiempo que se aporta una aproximación poco documentada en nuestro contexto a los procesos internacionales de certificación profesional.

SECOND INTERNATIONAL SMALL HYDRO MEETING: EXPERIENCIA, CONOCIMIENTO Y FUTURO DE LA HIDROELECTRICIDAD

Este número tiene, además, un significado particular para la *Revista de Ingeniería* porque incorpora una sección especial, derivada del Second International Small Hydro Meeting.

La posibilidad de reunir estos cuatro trabajos nos permite abrir un espacio de reflexión sobre una tecnología que continúa ocupando un lugar estratégico dentro de los sistemas energéticos y que, a la vez, enfrenta importantes desafíos relacionados con el diseño, la operación, el envejecimiento de la infraestructura, la modernización tecnológica, la flexibilidad de los sistemas eléctricos y las necesidades energéticas de los territorios.

Considero especialmente valioso que en los artículos de esta sección no se mire la hidroelectricidad desde una sola escala ni desde una sola etapa del ciclo de vida de los proyectos. Por el contrario, se construye un recorrido que comienza con las decisiones que determinan el éxito de una central, se continúa con el diagnóstico de infraestructuras que han operado durante décadas, se avanza hacia la modernización y el almacenamiento como componentes de la transición energética y se concluye en una escala diferente pero igualmente importante: las necesidades energéticas concretas de los usuarios rurales.

La sección comienza con “Decisions that make a hydropower project successful”, un trabajo en el que se sitúa la discusión precisamente donde debe empezar cualquier proyecto de ingeniería: en la calidad de las decisiones que se toman antes de construir.

En el artículo se enfatiza en el carácter interdisciplinario del diseño hidroeléctrico y se advierte que las elevadas inversiones iniciales, sumadas a las limitadas posibilidades de modificar una central después de construida, hacen indispensable analizar cuidadosamente las condiciones naturales y técnicas desde las primeras eta-

pas del proyecto. Además, se destacan la disponibilidad y la calidad de la información hidrológica, así como los datos relacionados con el transporte de sedimentos, aspectos que pueden representar debilidades importantes cuando no se consideran adecuadamente.

Su planteamiento recoge una idea sencilla, pero de gran profundidad para la práctica de la ingeniería: *los proyectos hidroeléctricos deben comprender los procesos naturales y trabajar con ellos, y no simplemente intentar imponer soluciones sobre el territorio*. La posibilidad de concebir centrales capaces de operar en forma adecuada durante periodos muy prolongados depende, en buena medida, de la calidad de esas decisiones iniciales.

Esta reflexión encuentra continuidad en “Diagnóstico de pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH)”, trabajo en el que se abordan metodologías orientadas a evaluar la condición de centrales existentes y a aportar criterios para prolongar su vida útil.

Su contribución se sustenta en la experiencia acumulada a partir del diagnóstico de *16 proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas, con una capacidad nominal conjunta de 45,9 MW y periodos de operación comprendidos entre aproximadamente 50 y 115 años*. Esta experiencia permite reunir aprendizajes derivados de infraestructuras que han permanecido en servicio durante varias décadas y que requieren decisiones técnicas informadas para establecer sus posibilidades de continuidad.

La inclusión de este trabajo dentro de la sección resulta particularmente pertinente porque introduce una dimensión que, con frecuencia, recibe menor atención que el diseño y la construcción de nuevas instalaciones: *cómo evaluar técnicamente aquello que ya existe y cómo determinar si una infraestructura puede continuar prestando servicio de manera confiable*.

En un contexto de transformación de los sistemas energéticos, extender responsablemente la vida útil de los activos existentes puede representar una oportunidad técnica, económica y ambiental significativa. Sin embargo, esta posibilidad depende de diagnósticos rigurosos que permitan reconocer las condiciones reales de los componentes, establecer necesidades de intervención y sustentar las decisiones de rehabilitación o modernización.

Desde esta escala asociada con el diagnóstico y la gestión de activos existentes, la sección avanza hacia una perspectiva sistémica con “Modernización de centrales hidroeléctricas y almacenamiento por bombeo: estra-

tegias para fortalecer la estabilidad y resiliencia de los sistemas eléctricos en la transición energética”.

El artículo parte de uno de los principales desafíos de la transformación energética actual: contar con sistemas eléctricos suficientemente flexibles y resilientes para integrar mayores niveles de generación renovable variable, sin comprometer la estabilidad de la red. En estas condiciones, la hidroelectricidad puede desempeñar funciones que trascienden la generación convencional.

La modernización y rehabilitación de centrales existentes, el *repowering* y el almacenamiento hidroeléctrico por bombeo aparecen como alternativas capaces de aumentar la eficiencia operacional, aportar flexibilidad y fortalecer la seguridad energética. Esta discusión adquiere especial relevancia para América Latina y el Caribe, donde una parte significativa de las centrales hidroeléctricas ha superado su vida útil de diseño.

Las experiencias internacionales presentadas permiten observar, además, cómo el conocimiento acumulado en la operación de infraestructuras existentes se puede combinar con nuevas tecnologías y con los requerimientos emergentes de los sistemas eléctricos. La transición energética, desde esta perspectiva, no necesariamente implica sustituir todo aquello que existe, sino también significa *reconocer el valor de los activos disponibles, rehabilitarlos y modernizarlos cuando resulte viable, y asignarles nuevas funciones dentro de sistemas energéticos en transformación*.

El recorrido de la sección especial concluye cambiando deliberadamente de escala.

“Demanda de energía para la cocción de alimentos de un usuario rural” dirige la mirada hacia las necesidades cotidianas de las personas y recuerda que las discusiones sobre energía no se pueden limitar a capacidad instalada, grandes infraestructuras o estabilidad de los sistemas eléctricos.

A lo largo del artículo se plantea que la evaluación de la demanda energética en contextos rurales debe integrar todos los requerimientos de los usuarios, incluida la preparación de alimentos. Para esto, se consideran variables asociadas con el energético utilizado, la estufa, los recipientes y los alimentos, mediante una aproximación experimental orientada a cuantificar el consumo de energía.

Los resultados obtenidos para condiciones rurales tropicales señalan al biogás como una alternativa capaz de responder a esta necesidad desde dimensiones técnicas, económicas, ambientales y sociales.

Cerrar la sección con este trabajo tiene, desde mi perspectiva, un significado especial. Permite recordar que detrás de las discusiones sobre generación, almacenamiento, modernización y resiliencia existen personas, hogares y comunidades con necesidades concretas. *La transición energética adquiere verdadero sentido cuando las transformaciones tecnológicas se logran traducir también en soluciones pertinentes para los territorios y en mejores condiciones de vida para sus habitantes.*

Los cuatro trabajos de la sección especial del Second International Small Hydro Meeting se pueden leer, entonces, como diferentes partes de una misma conversación.

- Primero, tomar adecuadamente las decisiones que determinan el desempeño futuro de un proyecto.
- Después, comprender la condición de las infraestructuras existentes y establecer cómo prolongar responsablemente su vida útil.
- Posteriormente, modernizar los sistemas hidroeléctricos y aprovechar alternativas de almacenamiento y flexibilidad capaces de responder a los retos de la transición energética.
- Finalmente, recordar que cualquier transformación del sistema energético debe responder también a las necesidades reales de las personas y de los territorios.

En esta secuencia se sintetiza uno de los principales mensajes que quisiera destacar de esta edición: *la sostenibilidad de la ingeniería no depende únicamente de desarrollar nuevas tecnologías.* También depende de diseñar mejor, conocer y conservar aquello que todavía tiene valor, modernizar responsablemente lo existente y comprender para quién y para qué desarrollamos nuestras soluciones.

Como directora de la *Revista de Ingeniería*, considero especialmente enriquecedor que en este número se reúnan perspectivas tan diversas. La pluralidad temática no se debe entender como una fragmentación del

conocimiento. Por el contrario, refleja la amplitud de una disciplina que participa simultáneamente en la protección de infraestructuras, la seguridad de las personas, la gestión de información, la formación profesional y la transformación de los sistemas energéticos.

En todos estos ámbitos aparece una responsabilidad común: *comprender antes de intervenir y decidir con fundamento.*

Los modelos, las normas, las tecnologías, los datos y la experiencia constituyen herramientas indispensables, pero su verdadero valor surge cuando se utilizan de manera crítica, contextualizada y responsable. Ninguna metodología sustituye completamente el juicio profesional y ninguna innovación tecnológica se puede desligar de las condiciones sociales, ambientales y territoriales en las que se aplicará.

Desde la *Revista de Ingeniería* esperamos que los trabajos reunidos en este número 141 contribuyan no solamente a divulgar resultados de investigación y experiencias profesionales, sino también a generar nuevas preguntas, conversaciones y posibilidades de colaboración entre la academia, la industria, las instituciones y quienes ejercen diariamente la ingeniería.

Seguimos convencidos de que una revista científica debe ser un espacio para comunicar conocimiento, pero también para ponerlo en discusión, contrastarlo y relacionarlo con los desafíos reales de nuestra sociedad.

La sección especial del Second International Small Hydro Meeting aporta a esta edición una reflexión particularmente oportuna: *el futuro no siempre comienza construyendo algo completamente nuevo.* También se puede construir aprendiendo de la experiencia, comprendiendo mejor los sistemas naturales, cuidando y modernizando la infraestructura existente y tomando hoy decisiones que permitan que nuestros sistemas continúen siendo útiles, confiables y sostenibles durante las próximas décadas.

Ese es también, en buena medida, el desafío de la ingeniería que queremos contribuir a construir desde estas páginas.