

PROSPECTIVA TECNOLOGICA DE LA INGENIERIA CIVIL EN COLOMBIA

*Alvaro J. González G.
Ingeniero Civil U.N.,
M.Sc., Departamento de Ingeniería Civil.
Profesor Asociado de Cátedra*

1. MARCO CONCEPTUAL GENERAL

Para poder enmarcar la prospectiva tecnológica de la Ingeniería Civil se estima conveniente presentar previamente algunos conceptos generales, los cuales han sido tomados principalmente de documentos del Autor (González, 1974, 1989, 1990, 1991, 1994 y 1995).

1.1 INGENIERIA E INGENIERIA CIVIL

1.1.1 La Ingeniería

La Ingeniería en general puede definirse como la APLICACION DE LOS PRINCIPIOS CIENTIFICOS PARA BENEFICIO DEL HOMBRE CREANDO MEDIOS PARA LA SATISFACCION DE NECESIDADES SOCIALES O INDIVIDUALES. En términos más específicos, puede decirse que la Ingeniería es un proceso

iterativo de toma de decisiones para obtener un COMPROMISO OPTIMO ENTRE ECONOMIA, SEGURIDAD E INFORMACION, para llegar al producto que satisface una necesidad humana, la cual inicia todo el proceso.

El método ingenieril se caracteriza por ser dinámico y los productos hay que obtenerlos, con límites variables de urgencia según las necesidades, aunque en el momento de las decisiones no se tenga un 100% de economía, seguridad o información, por lo que es necesario el mejor compromiso posible entre estos factores para que el resultado esté lo más cercano al óptimo. En consecuencia, la Ingeniería es esencialmente activa y en principio la pregunta básica que debe responder el Ingeniero es: ¿Qué hay que hacer?, en aparente contraposición con la

correspondiente pregunta de la Ciencia Pura, cual es: ¿Qué hay que conocer? (Rankine, 1858). Para poder acercarse a productos óptimos es indispensable maximizar el conocimiento, pero el Ingeniero no puede esperar al conocimiento total para tomar sus decisiones y producir los resultados que le demanda la sociedad. En consecuencia debe apelar al buen juicio ingenieril, basado en el precedente general y en su propia experiencia personal.

1.1.2 Ingeniería Civil

La Ingeniería Civil se ocupa del manejo y control, a nivel macroscópico, de fuerzas, procesos y materiales, principalmente naturales, con el fin de proveer la infraestructura indispensable a los medios de producción. Para ello lleva a cabo la concepción, diseño, construcción, operación y mantenimiento de las obras correspondientes y además, por su estrecha relación con el medio físico tiene una labor esencial en los procesos de prevención, manejo y recuperación ante desastres naturales.

No puede ni debe ser independiente de otras ramas del saber o de la ingeniería, pero su campo de acción es específico: la Ingeniería Civil no hace la producción en sí sino indirectamente por demanda de bienes y servicios para crear la infraestructura.

1.2 OBRAS DE INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS

Los elementos u obras de infraestructura, de acuerdo a la necesidad humana que satisfacen, sin pretender ser exhaustivos, pueden clasificarse según se presenta más adelante. En esta clasificación se han omitido aquellas obras que se destinan a la elusión o mitigación de riesgos, o las que se hacen con fines meramente bélicos. En esta tabla allí se indica además la conformación espacial típica de las obras de infraestructura (dentro de las cuales usualmente se excluyen los elementos móviles) categorizándola en cuatro clases: puntual, lineal, en red y extensa.

1.3 CAMPO DE ACCION YESPECIALIDADES

1.3.1 Campos de Acción

La Ingeniería Civil trabaja con comportamientos macroscópicos, aunque debe conocer las interrelaciones a todas las escalas para comprender los procesos que le interesan. Por su escala de trabajo, el mayor **campo físico** de acción y por ende de investigación es la **obra** (en términos ingenieriles) y el **terreno** donde se implanta.

Trabaja tanto con materiales elaborados o transformados por el hombre como con materiales naturales (aire, agua, tierra) y elementos y procesos naturales de más difícil predicción y control (ríos, valles, laderas, costas, lluvias, sismos, vulcanismo, inundaciones, etc). Estos materiales y procesos, así como las obras, deben ser modelados e interpretados por medio de planteamientos y análisis matemáticos, modelos físicos, mediciones y ensayos de campo y laboratorio. Este modelaje e interpretación permiten al Ingeniero Civil hacer extrapolaciones e interpolaciones predictivas, tanto en el espacio como en el tiempo, del comportamiento de las obras que le competen y del terreno donde estarán implantadas. Estas predicciones deben ser necesariamente confrontadas con la realidad para verificar o improbar los modelos y metodologías empleadas, con el fin de suministrar la información para futuras obras similares (precedente) y servir de apoyo básico para el adecuado avance del conocimiento y el consiguiente progreso de la profesión.

Por su relación directa y total con las grandes obras de infraestructura, cuyo planeamiento y ejecución son comúnmente responsabilidad del Estado, el Ingeniero Civil tiene que depender en alto grado de las políticas gubernamentales de inversión y contratación. Por lo mismo, salvo muy contados casos, está sujeto en forma directa o indirecta a los vaivenes, veleidades, conveniencias e inconveniencias de las acciones políticas a nivel local, regional o nacional. En contraposición, por ocuparse de obras primordiales para el servicio de la comunidad, su responsabilidad social es muy

elevada, pues con base en sus decisiones se asignan los recursos de toda la sociedad para que estas obras puedan ser realizadas y cualquier error, conceptual o de procedimiento, repercute en todo el ámbito socio-económico, la mayor parte de las veces amplificado. La interrupción de una vía por la caída de un puente, la falla de una edificación por deficiencias de diseño, la multiplicación de costos de obras, entre otros, son fenómenos muy traumáticos, los cuales los Ingenieros Civiles y la Ingeniería en general, deben tratar por todos los medios que no se presenten.

Las experiencias desafortunadas deben capitalizarse, analizándolas a fondo para obtener un mejor conocimiento, pero sobretodo para evitarlas en el futuro, pues “quién no aprende de sus errores está condenado a cometerlos indefinidamente”

1.3.2 Especialidades

Todas las ingenierías se basan, en general, en las mismas ciencias básicas: Física, Química y Matemáticas, pero la proporción en que intervienen y su uso dependen de la aplicación que requiera la rama específica de la Ingeniería.

Según el tipo de obra por desarrollar y los materiales con los cuales trabaja, la Ingeniería Civil puede dividirse en siete especialidades principales así:

- Ingeniería Ambiental
- Ingeniería Sanitaria
- Ingeniería Estructural
- Ingeniería Geotécnica
- Ingeniería Hidráulica
- Ingeniería de Vías y Transportes
- Ingeniería de Construcción

2. PROSPECTIVA TECNOLÓGICA EN INGENIERÍA CIVIL

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS GENERALES

En las épocas primitivas, a medida que el progreso se gestaba y las comunidades ya

sedentarias se consolidaban, como en toda especie social, se hizo necesaria la división del trabajo con el fin emplear de una manera más eficiente la capacidad humana, bajo las necesidades de una sociedad en expansión. Entonces aparecieron los oficios: un hombre o un grupo se dedicaron a la elaboración de algunos artículos o a la explotación de algún aspecto de la producción. De la experiencia obtenida por ensayo y error, por fallas o éxitos, la habilidad de los artesanos se fué mejorando gradualmente a medida que las artes, principalmente en la forma de “hágase esto” o “no se haga aquello”, se transmitían cuidadosa, pero no siempre exitosamente, de generación en generación.

La construcción de viviendas, caminos, puentes, templos, regadíos y obras similares tenían sus propios artesanos y, más o menos como hoy, los trabajos mayores estaban a cargo de organizaciones gubernamentales. La experiencia adquirida por los maestros constructores, así como por otros artesanos, usualmente se mantenían en secreto, pues podía ser de importancia militar o porque este conocimiento era un medio eficaz de dominio político o religioso: el hombre que podía enfrentar las poderosas fuerzas de la naturaleza y salir adelante, seguramente era temido y envidiado.

Sin embargo, estas habilidades, que usualmente significaban esfuerzos y poder, eran también un arma de doble filo. Muchas veces el conocimiento se adquirió en la forma más dura posible, puesto que en ocasiones los errores se pagaban con la vida del constructor responsable. Sin embargo, a pesar de estas medidas extremas, muy seguramente ocurrieron fallas y de ellas se aprendieron lecciones, las cuales fueron analizadas, guardadas y transmitidas con el fin de evitar futuros accidentes y fracasos. Pero la herencia de éstos métodos mejorados, usualmente expresados por medio de reglas empíricas o mágicas, generalmente sólo se extendía al pequeño círculo de aprendices, en especial si un conocimiento significaba poderío o potencial muerte a su poseedor. Como las condiciones eran inestables, las guerras frecuentes y las dinastías cambiantes, no toda la información se pudo conservar y el mismo camino hubo de recorrerse varias veces.

Con la introducción progresiva de las matemáticas y del método experimental, un proceso que no ha sido tan fácil, tan rápido o tan reciente como usualmente creemos, el arte de la construcción se pudo embarcar en la lenta pero importante transición de las reglas cualitativas o semicuantitativas de la antigüedad a los pensamientos y métodos cuantitativos, analíticos y objetivos de los últimos siglos. Estas poderosas armas permitieron la cuantificación progresiva y la interpretación y evaluación más racional del comportamiento de la Naturaleza, con lo cual se pudieron realizar construcciones más seguras, económicas y de mayor magnitud. También la transmisión de la experiencia se pudo hacer de una forma más objetiva y eficiente.

Sin embargo, aún con estos avances, cuando se creía que había una confianza suficiente en los métodos de análisis y construcción y se aventuró un paso más a una innovación o magnificación de los trabajos, del otro lado, como en los viejos tiempos, se encontraba esperando el fracaso. El Ingeniero entonces aprendió y hoy sigue aprendiendo que muchas de esas fórmulas y métodos que él estima como exactos, completos y precisos, no lo son y que hay severas limitaciones en numerosos aspectos.

2.2 TECNOLOGIA A NIVEL MUNDIAL

En un resumen de esta naturaleza es muy difícil presentar en forma completa tan vasto campo, por lo que obviamente hay limitaciones intrínsecas, la más importante la del propio Autor.

2.2.1 Marco General

En los países desarrollados de Europa y Norteamérica la infraestructura básica y de manera concomitante la Ingeniería Civil, evolucionaron en forma acelerada a partir de la **Revolución Industrial** a finales del Siglo XIX y precisamente una de los índices claros de desarrollo de un país es el haber satisfecho sus necesidades básicas de infraestructura y servicios. En estos países los trabajos básicos fueron llevados a cabo en su mayor parte en la primera mitad del presente siglo, pero aún se siguen ejecutando obras de infraestructura, adaptadas a las condiciones

físico-geográficas particulares (ya estudiadas y conocidas en detalle) y acordes con el desarrollo socio-económico de cada país o región.

La segunda revolución, ya en la segunda mitad de este siglo y en pleno desenvolvimiento, es la **Revolución de la Informática y Comunicaciones**, con los avances y popularización en electrónica, computadores y telecomunicaciones, que han ido convirtiendo al mundo en la “aldea global” de McLughlan.

Por último y en aparente contraposición con las dos anteriores se presenta la **Revolución Verde** que impulsa la preservación del ambiente global para evitar una catástrofe generalizada, dado que el gran depredador y devastador es el Hombre mismo.

2.2.2 Tendencias Generales

Dentro del contexto anterior y ya satisfechas en gran proporción las necesidades básicas de infraestructura, en los países desarrollados se notan tendencias a:

- Mecanización y reducción consiguiente de la mano de obra en la construcción.
- Preservación y modernización de la infraestructura existente.
- Minimización de problemas de contaminación y preservación o aún recuperación de los nichos de vida natural existentes.
- Reducción de los impactos por desastres naturales.
- Optimización del diseño y control de construcción de las obras, con procesos sistematizados y enfoques integrados (Calidad Total y Reingeniería).

2.2.3 Tendencias Particulares

Las necesidades principales de cualquier comunidad humana son: salud, alimentación, educación, vivienda, energía, trabajo, transporte y recreación, todas interrelacionadas y que no son de total injerencia directa de la Ingeniería Civil, pero la cual sí está presente en la solución de todas ellas con sus obras de infraestructura, las cuales además requieren de materiales, análisis e

instrumentación. En estos campos de satisfacción de necesidades humanas se insinúan ciertas tendencias a nivel mundial, expuestas con las limitaciones propias (González, 1989, 1995):

2.2.3.1 Salud

En este campo fundamental, competen a la Ingeniería Civil los sistemas de acueductos, alcantarillados, el saneamiento ambiental, la protección de bosques y el aspecto de desastres naturales.

A) Acueductos

En este campo, no ha sido fácil para los países desarrollados y menos para los países en desarrollo, el manejar el creciente proceso de urbanización y acumulación de población (en la actualidad (1995), las ciudades más grandes del mundo no están en los países desarrollados), puesto que el agua dulce es una mínima proporción de la totalidad de agua en la Tierra y la contaminación del recurso avanza cada vez más.

Las fuentes de agua superficiales ya se encuentran bastante agotadas en el mundo desarrollado y se busca el abundante recurso de aguas subterráneas, con el debido control de la subsidencia y contaminación, así como se trata de desarrollar procesos eficientes y económicos de desalinización de las abundantes aguas marinas. Además se hacen esfuerzos por mejorar las redes existentes con revestimientos nuevos, construcción de nuevas redes con métodos que no requieran excavaciones a cielo abierto (zanjas) y mejoramiento de los procesos de potabilización con métodos más eficientes.

B) Alcantarillados y Saneamiento Ambiental

En estos aspectos la situación puede ser más dramática, pues el gran esfuerzo en los países desarrollados está encaminado a la descontaminación de su hábitat, lo que aún no se ha logrado a pesar de ingentes inversiones. Luego de tratar de realizar este proceso en plantas de tratamiento generales con el lema “si contamina, paga”, se han vuelto a retomar como más eficientes los procesos de minimización de la contaminación en la fuente y de reciclaje de desechos.

C) Protección de Bosques

Un bosque es la culminación del largo proceso natural de la implantación de la vegetación en un lugar dado y los árboles, junto con las algas, son los únicos productores terrestres naturales de oxígeno, indispensable para la vida. Además, en el estado de bosque ya el suelo productivo agrícola se ha consumido en el proceso.

Dado que el Ingeniero Civil, con sus obras, es uno de los mayores destructores de este recurso, en los países desarrollados, salvo pocas excepciones, ya no quedan muchos bosques y los que restan se conservan como tesoros. El manejo de este recurso se encuentra a cargo de los Ingenieros Forestales, pero es deber del Ingeniero Civil el minimizar o mejor aún, el evitar su destrucción.

D) Desastres Naturales

La década 1990-2000 ha sido declarada por las Naciones Unidas como la de Prevención y Atención de Desastres. Pero a pesar de todos los avances, grandes catástrofes han llegado al mundo desarrollado: los sistemas hídricos más estudiados y controlados han sufrido inundaciones de grandes proporciones, como el del Río Mississippi (1993) y los de Holanda (1994); y por otro lado, el sismo de Kobe (1995) azotó a Japón, que es tal vez el país mejor preparado ante amenazas sísmicas.

En este caso de los desastres es evidente la necesidad de la prevención y para ésta es indispensable la investigación y la educación de la población. A pesar del gran impacto económico de los eventos mencionados atrás, la cuota de pérdida de vidas humanas fué relativamente baja en relación con la población afectada.

2.2.3.2 Alimentación

Este es uno de los problemas críticos de la Humanidad y postulado como insoluble por Malthus. La tendencia de los países desarrollados occidentales de terrenos de monocultivos extensos, con economía de escala pero vulnerables ante plagas y erosión y por otro lado

el método oriental tradicional de pequeñas parcelas, más manejables y aún el nuevo método de cultivos hidropónicos, todavía parecen insuficientes para la solución del problema. La pesca indiscriminada a gran escala, por otro lado, puede llevar a la extinción de especies y a la reducción de este aparentemente abundante recurso, el cual también se ve atacado por la contaminación.

Parece que la tendencia mundial es al cultivo de alta eficiencia tanto de plantas como de peces, a la ganadería intensiva y al uso optimizado del recurso agua (p.ej. riego por goteo, pequeños lagos) y del recurso suelo (p.ej. uso intensivo por ciclos, abonamiento adecuado y manejo biológico de plagas).

2.2.3.3 Educación

El empleo de toda la amplia gama de métodos audiovisuales y de programas de computador a nivel mundial ha penetrado la educación en todos sus niveles. Sin embargo su uso indiscriminado puede llevar a perder el objetivo del aprendizaje el cual es aprehender el conocimiento básico y conceptual:

“... los computadores solo manejan el nivel superficial de los sistemas matemáticos: los sistemas simbólicos. Los conceptos que permiten utilizar los computadores y programas, programar los computadores, e interpretar los resultados impresos por ellos, no pueden estar en los computadores ni ser manejados por ellos: tienen que ser construidos activamente en el cerebro del alumno y construidos por él mismo.....los computadores no reemplazan la actividad mental de la construcción, exploración, extensión y aplicación de los sistemas conceptuales. Si los computadores están disponibles, pueden apoyar maravillosamente esa construcción conceptual, pero si no están disponibles, hay muchas alternativas para producir los mismos efectos...” (Vasco, 1988).

No significa esto que no deba intensificarse en todas las materias la alfabetización electrónica o manejo de lenguajes y programas, pero con las salvedades antes descritas. Por otro lado, para el Ingeniero Civil son esenciales las prácticas en el

campo y en el laboratorio, las visitas a las obras y una mayor compenetración con el terreno por lo que es necesario combinar el sistema tradicional con el computacional para lograr un resultado adecuado que permita además la integración de conocimientos de las diferentes materias.

2.2.3.4 Vivienda

A nivel mundial se observa gran interés, de un lado, por volver a los materiales tradicionales (piedra, madera y tierra) y por otro lado a la prefabricación de la vivienda. Como desarrollos de punta se tienen además la casa autorregulada por computadores incluyendo climatización. Trata de reducirse la tendencia a los grandes edificios en altura por elevados costos y potencial vulnerabilidad.

2.2.3.5. Energía

A nivel global, la energía utilizada por el Hombre proviene en su gran mayoría de combustibles fósiles y en menor grado de hidroelectricidad y plantas atómicas. Se han desarrollado, optimizado o reorientado además la generación mareomotriz, la energía solar, la olvidada energía eólica, la energía geotérmica y el biogas. Hay además gran interés por las plantas pequeñas (microcentrales).

En el aspecto de presas hay la tendencia a volver a las presas de concreto, pero esta vez con concreto compacto (rollcrete) que sigue al desarrollo que tuvieron las presas de enrocado con cara de concreto. En cuanto a soporte de túneles el empleo de concreto lanzado y pernos de la escuela austríaca continúa usándose exitosamente, con algunas innovaciones de refuerzo del concreto con fibra metálica. Para la excavación ya se emplean métodos robotizados y las máquinas fresadoras ya existen hace algún tiempo.

Para minería, la tendencia es a emplear la explotación a cielo abierto, por razones económicas y a pesar de su gran potencial de impacto ambiental negativo.

En cuanto a los hidrocarburos, se han mejorado las técnicas de exploración y

explotación, alcanzando profundidades mayores y altos volúmenes de extracción.

2.2.3.6. Transportes

Los avances mundiales en los diferentes subsectores han sido significativos, pero varios de ellos tal vez no será posible adoptarlos en nuestro país en mucho tiempo, en algunos casos debido a sus altos costos, pero principalmente debido a que, como en muchos campos, no es posible importar indiscriminadamente avances obtenidos para otros medios físicos y económicos.

En el sector de carreteras, la solución en los países desarrollados para las vías más importantes de montaña ha sido la de viaductos y túneles, para sustraerse a las laderas y minimizar la influencia mutua entre las vías y los procesos inexorables de denudación de la corteza terrestre. Para que sean económicamente viables se requiere usualmente de altos volúmenes de tránsito que justifiquen posteriores menores costos de mantenimiento y de interrupción del servicio.

En los ferrocarriles, la tendencia hace ya muchos años es la operación a base de electricidad y el incremento de su velocidad y capacidad, llegando hasta el tren de levitación magnética que elimina casi totalmente las pérdidas por fricción y puede alcanzar velocidades de hasta 500 km./h. También requieren obviamente de altos volúmenes de carga y pasajeros, como los que se transportan por los túneles interoceánicos del Seikan (Honshu-Hokkaido en Japón) y Channel Tunnel (Inglaterra-Francia).

En relación al transporte urbano, el empleo de trenes metropolitanos (metros) ha sido usual desde hace ya bastante tiempo en las grandes ciudades del mundo, pero con costos cada vez más crecientes.

En cuanto al transporte fluvial los avances mundiales han sido en los vehículos (colchón de aire, anfibios), pues estos países ya tienen casi totalmente controlados sus ríos y construídas sus redes de canales navegables.

En el sector marítimo se ha incrementado el calado de los buques y su velocidad, mientras que el manejo de la carga se hace casi en su totalidad por contenedores.

En la aviación, el transporte supersónico de pasajeros no ha tenido a nivel mundial la acogida esperada y el tamaño de los aviones comerciales es probable que no supere al de los actuales Jumbos. Lo que sí ha avanzado mucho son los sistemas de seguridad, comunicaciones y radioayudas.

En líneas de transmisión y oleoductos, se han incrementado las capacidades, longitudes y se han optimizado los métodos de control y protección.

2.2.3.7 Materiales

En el campo de los materiales hay tendencias mundiales de rápida e interesante evolución en el desarrollo de nuevos elementos, tanto cerámicos, polímeros o aún metálicos, de características aún insospechadas. Adicionalmente, también se optimizan y encuentran nuevos usos a los materiales tradicionales.

Para la Ingeniería Civil, por ejemplo, en la última década ha habido un gran desarrollo de los denominados geosintéticos (geotextiles, geomembranas, geomallas y geocompuestos), normalmente materiales poliméricos que, combinados con materiales térreos, permiten numerosas aplicaciones. En el campo de los materiales tradicionales, por otro lado, hay más de 30 instituciones en el mundo dedicadas a la investigación del uso de suelos estabilizados para construcción de vivienda.

2.2.3.8 Sistemas Analíticos, Informáticos y de Instrumentación

En los aspectos analíticos la tendencia mundial es a la adopción de métodos numéricos de alta eficiencia para simulación del terreno, las obras y sus componentes, tales como elementos finitos, elementos de borde, elementos discretos y elementos mixtos; la programación dinámica; la creación de lenguajes más eficientes como el

Turbopascal, Lenguaje C, etc; el desarrollo de hojas de cálculo múltiples (Lotus, Qpro, Excel, etc.) y programas matemáticos de alto nivel (Matlab, MathCad, etc.). Estos avances van paralelos a los rápidos desarrollos en computación e Ingeniería de Sistemas que han influido en todos los campos.

En el manejo de información, además de lo anterior, se destacan los Sistemas de Información Georreferenciados (SIG), integrados con los desarrollos en sensores remotos, incluidos los satelitales y los sistemas de procesamiento gráfico (CAD), que permiten la manipulación y superposición de gran cantidad de datos de numerosas fuentes, lo que facilita enormemente tanto los estudios territoriales como de la evolución de los fenómenos naturales y antrópicos en la superficie terrestre.

En la instrumentación, además del desarrollo de nuevos sensores más precisos, ya desde hace varios años es posible integrarlos a los computadores para el procesamiento directo de datos, minimizando errores humanos para dar un cuadro más veraz de los fenómenos bajo estudio. Dentro de éstos avances se incluyen los aparatos topográficos y geodésicos para mediciones en el terreno.

2.3 TECNOLOGIA EN COLOMBIA

2.3.1 Diagnóstico

La tecnología en Ingeniería Civil en Colombia, por su carácter de país en desarrollo y por una tradicional actitud esnobista nacional, aparentemente no ha hecho muchos aportes o éstos no han tenido la suficiente divulgación. Se presume que, como las necesidades son iguales, las soluciones deben ser iguales y que por lo tanto se pueden importar impunemente tecnologías, procesos y métodos de construcción de otros países sin el debido escrutinio crítico, olvidando que nuestros medios físico-geográfico y socio-económico son diferentes a los de los países de donde importamos las metodologías. Por ejemplo, Guhl (1988) anota:

“La tecnología debe ser y es una actividad que responde a necesidades sociales y al medio

ambiente. Tanto las unas como el otro deben ser específicos si lo que se persigue es desarrollar una tecnología que trabaje en beneficio del ser humano y de la sociedad con unas características dadas, sin destruir su medio ambiente. No tiene sentido hablar de un desarrollo tecnológico en abstracto, tiene que darse sobre un contexto social y físico-natural determinado y preciso.”..“Es evidente entonces, que para que prospere el desarrollo tecnológico es un requisito previo que exista un conocimiento y una conceptualización de la realidad y de las necesidades y objetivos del hombre y de la sociedad.”..“desconocemos en forma dramática nuestra propia realidad. Es decir, ignoramos en muy buena medida nuestro contexto vital, lo cual impide naturalmente que tengamos un desarrollo tecnológico propio adecuado a nuestras características y necesidades”..“el desarrollo no se logra poseyendo la tecnología sino creándola y habiendo logrado los cambios sociales, culturales y políticos que su adecuado empleo implica. En el fondo el subdesarrollo no es un fenómeno de recursos sino un problema humano. Dentro de esta perspectiva se comprende que tratar de encontrar un atajo en el camino en busca del desarrollo, mediante la compra de tecnología no pasa de ser una falsa ilusión.”

A pesar de que en el mismo artículo Guhl reconoce que es indispensable la investigación y que el Plan Nacional de Ciencia y Tecnología iría a aliviar el problema, no existe en la actualidad (1995) un Plan General de Investigación en Infraestructura ni en el país ni en la Universidad. A pesar que gran parte de los dineros públicos se dedica a rubros de infraestructura, que un porcentaje muy alto de nuestra deuda externa lo soportan las entidades encargadas de los servicios públicos y que a pesar de todo, la infraestructura básica de nuestro país dista mucho de estar desarrollada, no hay un plan coherente de desarrollo, investigación y optimización para el sector y en los Programas Nacionales de Ciencia y Tecnología (Colciencias, 1992), salvo por menciones aisladas en los Planes de Energía y Minería y de Medio Ambiente y Hábitat, no se aprecia un programa específico para estos temas. No quiere esto decir que no se hayan hecho investigaciones sobre diversos tópicos, muchas de ellas muy valiosas.

Lo anterior desnuda algunas de nuestras grandes debilidades:

- a) El desconocimiento crítico de nuestro medio al cual debemos dar soluciones
- b) La falta de reconocimiento de las prioridades reales en el momento de asignar recursos
- c) La ausencia de coherencia y continuidad en las investigaciones.

2.3.2 Prospectiva General

Con todo lo expuesto, el prospecto tecnológico en Ingeniería Civil para nuestro país no debe ceñirse a lo que se puede hacer sino a lo que hay que hacer, por lo cual prioritariamente es necesario:

- 1) Apropiar los fondos, fortalecer y colocar plazos a los Institutos encargados del conocimiento territorial de Colombia (Instituto Geográfico, INGEOMINAS, IDEAM, etc), para que concluyan su labor a un nivel de detalle adecuado, con uso de herramientas actualizadas (p.ej. Sistemas de Información Georreferenciada, SIG)
- 2) Crear el Plan Nacional de Investigación en Infraestructura, para lo cual puede desarrollarse el esquema esbozado hace algunos años (González, 1991):
- 3) Dotar a las Facultades de Ingeniería de los medios físicos, bibliográficos y computacionales adecuados para la labor investigativa.
- 4) Crear en cada una de las instituciones oficiales encargadas de la infraestructura (Instituto Nacional de Vías, Interconexión Eléctrica, Empresas de Servicios Públicos, Instituto de Adecuación de Tierras, Ferrovías, Puertos de Colombia, Ecopetrol, etc) departamentos de interfase con las Universidades para crear en ellas Unidades de Investigación y Desarrollo en Infraestructura.
- 5) Dar incentivos reales para la promoción de investigación y desarrollo en las empresas

privadas de Ingeniería Civil (consultoras y constructoras).

- 6) Fortalecer las Asociaciones Científicas en sus metas de divulgación e investigación.

2.3.3 Prospectiva por Especialidades

Asumiendo que el Conocimiento Territorial Básico va a adquirir un gran impulso y que eventualmente se va a concluir a un nivel de detalle adecuado, en cada especialidad se debería mantener actualizado un Inventario Nacional de Necesidades y Recursos de y para Infraestructura. Además de esto habrá labores específicas, la mayoría de ellas de carácter interdisciplinario, de las cuales se mencionan unas pocas y algunas de ellas ya se pueden haber iniciado en algunos lugares o en épocas anteriores.

2.3.3.1 Ingeniería Ambiental

- Seguimiento de los impactos ambientales reales de las obras de infraestructura existentes y de las que están en marcha.
- Recuperación de los ecosistemas contaminados (p.ej. Río Bogotá)
- Medición periódica de niveles de contaminación de aire, agua y suelo, con eventual desarrollo de aparatos de medición adecuados al medio.
- Desarrollo de sistemas de control de contaminación en la fuente.
- Organización de los sistemas generales de reciclaje.
- Código sobre disposición de materiales térreos (botaderos) para obras civiles
- Código Ambiental.
- Campañas educativas.

2.3.3.2 Ingeniería Sanitaria

- Desarrollo y/o adaptación de modelos de estructuras para acueductos y alcantarillados para poblados menores.
- Desarrollo de plantas de tratamiento compactas y económicas, tanto para agua potable como para aguas servidas, para diferentes climas.
- Desarrollo de sistemas de bocatomas y captación para corrientes demontaña.

- Desarrollo de sistemas constructivos de tuberías en zonas montañosas.
- Sistemas de elevación de agua económicos (ariete, tornillos).
- Manejo de aguas residuales en zonas montañosas.
- Sistemas de manejo de basuras y reciclaje
- Desarrollo de sistemas de medición y seguimiento.
- Código Sanitario.
- Divulgación.

2.3.3.3 Ingeniería Estructural

- Cartillas de construcciones menores sismo-resistentes y económicas
- Investigaciones sobre materiales autóctonos (guadua, “quincha”, suelos estabilizados, etc).
- Desarrollo de sistemas prefabricados, incluyendo materiales autóctonos.
- Desarrollo de sistemas de medición y seguimiento
- Código Estructural (en proceso de convertirse en Ley)
- Divulgación

2.3.3.4 Ingeniería Geotécnica

- Estudio y caracterización de propiedades de materiales y macizos rocosos de Colombia.
- Estudio y caracterización de propiedades dinámicas de suelos y rocas.
- Inventario de fuentes de materiales de construcción, actualización.
- Inventario de deslizamientos actualización y ampliación.
- Investigación de Pavimentos, actualización con énfasis en zonas urbanas.
- Inventario Nacional de Presas.
- Inventario Nacional de Túneles.
- Desarrollo de metodologías de evaluación de amenazas. La Metodología de Taludes Naturales, auténtico avance científico, está por publicarse.
- Desarrollo de sistemas de cimentación en ladera..
- Desarrollo de sistemas de medición y seguimiento .
- Código Geotécnico.
- Divulgación.

2.3.3.5 Ingeniería Hidráulica

- Inventario de fuentes de agua potable y demanda.
- Actualización del Estudio Nacional de Aguas.
- Estudio Nacional de Cuencas
- Estudio de corrientes torrenciales y amenazas de avalanchas
- Estudio de estructuras portuarias menores.
- Estudio de incremento de eficiencia en sistemas de regadío.
- Manuales de obras para pequeño riego y pequeños lagos.
- Estudio de optimización de obras hidráulicas viales.
- Desarrollo de sistemas de medición y seguimiento.
- Código Hidráulico.
- Divulgación.

2.3.3.6 Ingeniería de Vías y Transporte

- Actualización del Plan Nacional de Transporte.
- Sistemas de diseño y construcción de vías de montaña.
- Estudio de electrificación del sistema ferroviario.
- Desarrollar y/o adaptar sistemas eficientes de transporte urbano
- Normalización de estudios y construcción de oleoductos y líneas de transmisión en montaña, en los cuales Colombia ocupa lugar destacado.
- Desarrollo de sistemas de medición y seguimiento.
- Divulgación.

2.3.3.7 Ingeniería de Construcción

- Desarrollo de métodos sencillos y eficientes para pequeñas obras.
- Inventario Nacional de Obras Inconclusas.
- Estudio crítico y seguimiento de los nuevos sistemas de contratación por concesión.
- Evaluación de costos, rendimientos y plazos **reales** de obras
- Código Nacional de Construcción.
- Divulgación.

2.3.3.8 Energía

- Actualización del Plan Nacional de Energía.
- Actualización del Inventario de Recursos Hidroeléctricos.
- Revisión de los modelos de generación, distribución y consumo.
- Sistemas piloto de energías alternativas
- Evaluación de costos, rendimientos reales de sistemas de generación.
- Código Energético Nacional.
- Divulgación

2.3.3.9 Manejo de Desastres

- Identificación de amenazas a nivel regional y local .
- Planteamiento de modelos probabilísticos de evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgos.
- Desarrollo de sistemas de alarma temprana para eventos naturales.
- Desarrollo de obras de prevención, corrección y control de amenazas naturales.
- Desarrollo de metodologías de evaluación de daños.

3. LA PROSPECTIVA TECNOLÓGICA DE LA INGENIERÍA CIVIL EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL

3.1 PROBLEMAS EN LA UNIVERSIDAD

La Universidad Nacional, a pesar de todos los esfuerzos, continúa siendo principalmente un ente transmisor de técnica y no un centro originador de conocimientos y creador de tecnología, estando sujeto a los vaivenes presupuestales gubernamentales, con una nómina profesoral congelada desde hace varios años y una infraestructura física en plena decadencia y obsolescencia.

La estructura orgánica de la Universidad, la cual ha pasado del modelo europeo tradicional al modelo norteamericano individualista, no está hecha para la investigación sino casi exclusivamente para la docencia, cosa indudablemente básica, pero que debe ser el gran

resultado y no el objetivo de la Universidad. Toda la organización administrativa y de soporte continua teniendo los grandes vicios, trabas y papeleo de cualquier ente oficial colombiano, paquidérmicamente ineficientes por antonomasia. La falta de autonomía real hace que la Universidad no sea sino un apéndice más, y a veces molesto, del gran andamiaje burocrático estatal.

Esta falta casi total de autonomía Universitaria y la dependencia presupuestal, paradójicamente ha llevado a buscar recursos con contratos externos, usualmente de investigaciones. Sin embargo estos trabajos se han mirado más veces como productores de fondos que como generadores de conocimientos y por su carácter coyuntural, en la mayoría de los casos no permiten la consolidación real de grupos de investigadores.

Las entidades contratantes, por su parte, no siempre son lo suficientemente abiertas para permitir la crítica constructiva que resulta de las investigaciones que encargan a la Universidad y esto hace aún mas efímeras estas relaciones inter-institucionales.

Concordante con lo anterior, la Universidad y lo que es más preocupante, su cuerpo docente, tiende más hacia la burocratización que hacia el trabajo productivo, que aunque está teóricamente incentivado en el papel, en la realidad hace del profesor que desea efectuarlo, el centro de toda clase de dificultades, trabas administrativas y lo peor, aún envidias y aislamiento por algunos de sus compañeros docentes y directivos.

La investigación se mira en la mayor parte de los casos como un mal necesario, pero no hay un claro sentido ni vocación generalizada del profesorado por esta actividad, salvo por los proyectos y tesis de grado. Las bonificaciones por los trabajos de investigación, se calculan y se otorgan de remanentes, si los hay, de los contratos externos, salvo contadas excepciones.

El investigador, con su bajo salario de profesor, no siente compensado el esfuerzo ni ve estimulada su actividad investigativa, cuando lo compara con lo que devenga un profesional de su mismo nivel en la empresa privada, también en un

contrato con una entidad estatal. Estas grandes diferencias salariales, también hacen que no sea posible mantener en la Universidad un cuerpo estable de investigadores, pues en muchos casos son rápidamente absorbidos por el sector privado.

Las trabas y demoras en la adquisición de equipos, bibliografía y material investigativo, a causa de la ya mencionada naturaleza burocrática de la Universidad, entorpecen la labor investigativa a tal punto que ésta se convierte más en una lucha contra la burocracia que en un esfuerzo por producir conocimiento o tecnología. Todas estas dificultades hacen que casi nadie se arriesgue a repetir tal experiencia.

A pesar de todo lo mencionado se han hecho investigaciones, algunas de ellas relativamente exitosas, pero su incorporación al acervo didáctico de la Universidad no ha sido todo lo amplia y profunda que debiera ser. Los cursos de educación continuada tienen que ser “rentables” y no es fácil producir una publicación de amplia divulgación con los resultados de los trabajos investigativos.

3.2 PLAN DE ESTIMULO A LA INVESTIGACION

Es lógico que lo que se va enunciar a continuación parezca utópico, pero normalmente las metas a largo plazo así lo son.

La Universidad debe ser totalmente autónoma y su estructura orgánica debe transformarse para abarcar investigación y docencia como actividades básicas y complementarias, entre sí y en ese orden.

Esto implicaría una total reorganización en la cual casi todos los departamentos serían institutos de investigación, con organización y personal para tal fin. Las hojas de trabajo se llenarían primero con el trabajo de investigación y como complemento en los cursos respectivos y no al contrario como sucede hoy.

La labor administrativa debería concentrarse en el apoyo a estos departamentos de investigación, con control fiscal posterior y total flexibilidad y rapidez de operación. Debe darse

amplia cabida y entrenamiento a los economistas, administradores y contadores egresados de la misma Universidad.

Se debe hacer un incremento notable en las remuneraciones a los investigadores profesores y establecer reglas claras en la clase y alcance de los trabajos al exterior de la Universidad y en la repartición de los excedentes entre la Universidad, la Facultad y los Departamentos Investigadores.

Debe tenerse un plan y mecanismos ágiles de producción, adquisición, mantenimiento y renovación de equipos, libros y materiales de investigación y docencia. En este aspecto hay sinnúmero de entidades e institutos de muchos países dispuestos a ayudar, y estas ayudas se pueden aceptar sin que esto implique claudicar en la autonomía del País o de la Universidad.

Es posible establecer convenios y suscribir contratos con planes a largo plazo con las entidades estatales encargadas de la infraestructura, las cuales estarían obligadas a ello, definiendo grandes líneas de investigación y proyectos específicos por etapas.

Se debe establecer una política clara a largo plazo de publicaciones, con colecciones periódicas, incremento de revistas especializadas y estímulos a las personas que producen las publicaciones, con puntos, premios y distinciones. Por otro lado es indispensable la mejora e incremento de los centros de documentación y bibliotecas, con su modernización e incorporación a las redes internacionales de datos.

Con lo anterior es de esperar una mejora automática de la docencia, los postgrados surgen naturalmente y su calidad se ve incrementada a medida que avanza el proceso.

REFERENCIAS:

COLCIENCIAS (1992). Convocatoria a la Creatividad Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología 329pp. Diciembre de 1992

GONZALEZ, A.J. (1974). Safety Factors: A Conceptual Review - Tesis - Imperial College of Science and Technology , University of London, Londres, 1974

GONZALEZ, A.J. (1989). Desarrollo e Inserción Social de la Ingeniería Civil en Colombia. Informe para la Misión de Ciencia y Tecnología FONADE - Bogotá, Enero, 1990 - 203 pp., 3 Anexos

GONZALEZ, A.J. (1990). Estado de Desarrollo y de Inserción Social de la Ingeniería Civil en Colombia.- en "La Conformación de las Comunidades Científicas en Colombia"- Misión de Ciencia y Tecnología-Volumen 3-Tomo 2- pp 691-734 -M.E.N.-D.N.P.-FONADE-1990.

GONZALEZ, A.J. (1991). Algunas Anotaciones sobre la Investigación y Docencia en Ingeniería Civil - ACOFI, Bucaramanga, 1991

GONZALEZ, A.J. (1994). Riesgos en Infraestructura y Servicios - Informe para la Corporación para Prevención de Riesgos del Desarrollo- CORPREVER- Enero 1994.

GONZALEZ, A.J. (1995). Anotaciones sobre la Prospectiva Tecnológica de la Ingeniería Civil en Colombia - ACOFI, Bogotá, Mayo de 1995.

GUHL N., E. (1988). Tecnología en Colombia, Dependencia o Desarrollo Propio- Anales de Ingeniería Vol. XCVI-No. 837 - Sociedad Colombiana de Ingenieros- 1988.

RANKINE, W.J.M. (1858). A Manual of Applied Mechanics - 3rd. Ed. - Charles Griffin & Co- London, 1864.

VASCO U., C.E. (1988). La Informática en los Programas de Matemáticas de la Educación Básica - en Educadores e Informática-Promesas, dilemas y realidades- pp.77-102 - Colciencias, 1988.