

# GRANDES RETOS PARA LA INGENIERÍA DEL SIGLO XXI

Darío Valencia Restrepo.

S. M. & C.E. del Instituto Tecnológico de Massachusetts.  
Profesor Emérito y Profesor Titular de Ingeniería Civil en la Universidad Nacional  
de Colombia

**Esta entrega es parte de la conferencia  
presentada por el doctor Darío Valencia en la  
sede Manizales de la Universidad Nacional de  
Colombia el 13 de mayo de 2011.**

“La mejor manera de predecir el futuro es construirlo”

Peter F. Drucker

“En el futuro la fama durará 15 minutos”

Andy Warhol

“El compositor es un artesano. He tenido que trabajar duro; cualquiera que trabaje igual de duro, llegará igual de lejos.”

Johann Sebastian Bach

# GRANDES RETOS PARA LA INGENIERÍA DEL SIGLO XXI PROPUESTOS POR LA ACADEMIA NACIONAL DE INGENIERÍA, DE LOS ESTADOS UNIDOS

1. Reducir el costo de aprovechar la energía solar
2. Proporcionar acceso al agua limpia
3. Impulsar la enseñanza personalizada
4. Restaurar y mejorar la infraestructura urbana
5. Desarrollar métodos para retener el CO2
6. Diseñar mejores medicinas
7. Aprovechar el uso de la informática en la salud



**La Academia Nacional de Ingeniería, de los Estados Unidos, en el artículo ya citado, ha señalado 14 grandes retos que debe enfrentar la ingeniería en el siglo XXI. Además de los indicados en la pantalla, se consideraron los siguientes:**

- Controlar el ciclo del nitrógeno**
- Prevenir el terror nuclear**
- Proporcionar energía a partir de la fusión**
- Asegurar el ciberespacio**
- Diseñar herramientas para el descubrimiento científico**
- Efectuar la ingeniería inversa del cerebro**
- Mejorar la realidad virtual**

**El tema de la educación personalizada se relaciona con la educación abierta pues son ya comunes los sistemas educacionales basados en internet, que proporcionan material de enseñanza a los estudiantes y les facilitan la interacción con los instructores.**

# RETOS PARA LA INGENIERÍA EN COLOMBIA



- Reforma agraria
- Desarrollo sostenible y recursos naturales
- Agricultura y paz

- El libro “Las dos culturas” de la Facultad de Ingeniería de la sede Bogotá de la Universidad Nacional plantea diez retos. El tiempo no nos permite sino breves menciones sobre algunos de estos puntos, de modo que los invito a leer el libro.
- El primero de ellos se refiere a la necesidad de una redistribución de la propiedad de la tierra pero que lleve consigo un apoyo mediante crédito, apropiación técnica y comercialización. La situación se ha agravado por los desplazamientos forzados de campesinos y los cultivos del narcotráfico.
- Con respecto al segundo punto, es importante destacar la necesidad de que en las escuelas de ingeniería se estudie críticamente el concepto de desarrollo sostenible, se vaya más allá del concepto neoliberal del crecimiento económico y se consideren las diferentes opciones de desarrollo pues es común que, simplificando lo social, el ingeniero se apegue a sofisticados modelos cuantitativos.
- El siguiente punto, el tercero, se relaciona con el primero y nos llama la atención sobre asuntos tan cruciales como la seguridad alimentaria, las cadenas productivas, los cultivos transgénicos... si tenemos en cuenta que el país importa anualmente unos 10 millones de toneladas de alimentos, entre ellos algunos de tipo transgénico. Se contempla también un punto de 79
- mucho interés para la producción académica y que se relaciona con los múltiples estudios que no salen de los estantes de bibliotecas. Pone como ejemplo las muchas misiones sobre la situación rural, con frecuencia contratadas por los mismos gobiernos, cuyas conclusiones y recomendaciones son ignoradas.
- Estos dos puntos comentados nos llevan a una reflexión: nuestra profesión ha tenido un cierto acento urbano en desmedro de la atención que merece el campo colombiano.

# RETOS PARA LA INGENIERÍA EN COLOMBIA

- **Desarrollo industrial**
- **Escenarios energéticos para Colombia**
- **Perspectivas del recurso agua**
- **Transporte masivo en Bogotá**
- **Fraude en telecomunicaciones**
- **Comercio electrónico**
- **Política petrolera y paz**

• Se pone de presente la importancia de la participación de la profesión cuando se analiza las consecuencias de la apertura de los años noventa, el descenso en la participación de la industria en el PIB y el apoyo que merecen las PYMES por ser grandes generadoras de empleo. Se insiste en la necesidad de la colaboración entre la universidad y la empresa como medio para propiciar el desarrollo industrial, la mejor fuente, diríamos nosotros, de empleo digno, bien remunerado y estable. Uno de los participantes consideraba imperativo formar integralmente el ingeniero, con una mayor visión de lo social, de lo administrativo y de lo sistémico.

Los dos siguientes puntos, energía y agua, han sido constante preocupación de nuestra universidad y tendrán que continuar muy presentes en sus facultades de ingeniería. Sobre el primero se destaca el estudio sobre energía sostenible con base en el método de los escenarios futuros, y con respecto al segundo se presentan algunos aspectos relacionados con el riego y drenaje, así como con la navegación. Especial énfasis se hace en la necesaria participación de la universidad colombiana en la recuperación del río Magdalena, su integración con otros modos de transporte y su relación con el proyecto de integración fluvial de América del Sur. Apenas mencionamos los cuatro últimos puntos tratados en el libro.

# OTRAS PRIORIDADES EN COLOMBIA

- Pobreza, miseria e inequidad.
- Convivencia
- Cambio climático: -Estudio de eventos hidrológicos extremos :
  - Efectos de “El Niño” y “La Niña” en Colombia
  - Los estudios de la Facultad de Minas
- Prevención y mitigación de desastres: el sistema ambiental y los planes de ordenamiento territorial
- Construcción y renovación de infraestructura
- Lucha contra la corrupción



# LOS LÍMITES DEL PLANETA TIERRA

Cambio climático

Tasa de pérdida de biodiversidad terrestre y marina

Interferencia con los ciclos del nitrógeno y del fósforo

Reducción del ozono estratosférico

- **En el artículo citado en las referencias, titulado “Un seguro espacio de operación para la Humanidad”, de Rockström y otros, se identifican nueve procesos planetarios para los cuales es necesario establecer límites o umbrales que de ser excedidos podrían generar inaceptables cambios ambientales. Estas fronteras, que vienen definidas por un valor crítico de una o más variables, delimitan un espacio que asegura el mantenimiento de los procesos y sistemas biofísicos indispensables para la vida humana.**
- **Según el mencionado artículo, se ha sobrepasado ya los siguientes tres de los nueve límites: tasa de pérdida de biodiversidad, cambio climático e interferencia humana en el ciclo del nitrógeno. En el primer caso, la tasa natural histórica está entre 0,1 y 1 extinciones por millón de especies y por año, pero en la actualidad se estima que la tasa está entre 100 y 1.000 veces mayor; en el segundo caso, una variable crítica es la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, hoy igual a 387 partes por millón en volumen cuando el umbral estimado es 350; y en el último caso, como diferentes actividades humanas capturan nitrógeno de la atmósfera y lo convierten en nitrógeno reactivo que termina contaminando aguas, suelos y aire, los cálculos aproximados señalan que el flujo de nitrógeno reactivo se debería reducir a un 25% del valor actual. Pero los autores también anuncian que nos estamos acercando a los umbrales de otros procesos.**
- **Ver [www.environment.arizona.edu/files/env/profiles/liverman/rockstrom-etc-liverman-2009-nature.pdf](http://www.environment.arizona.edu/files/env/profiles/liverman/rockstrom-etc-liverman-2009-nature.pdf)**

# LOS LÍMITES DEL PLANETA TIERRA

Acidificación de los océanos

Uso del agua dulce

Cambio en el uso del suelo

Contaminación química

Presencia de aerosol en la atmósfera

# CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

- **Nos ocupamos ahora en forma breve de dos publicaciones relacionadas con el cambio climático en Colombia.**
- **En la primera encontramos un libro de la mayor enjundia que se ocupa con profundidad del clima, el cambio climático, la energía y el agua, a la vez que con gran propiedad discurre sobre las implicaciones políticas, sociales, éticas y hasta filosóficas del problema. La significación y actualidad de los diferentes datos, figuras y tablas, la seriedad de las fuentes utilizadas, la lucidez de los análisis, las propuestas concretas de cambio y la visión integradora de los fenómenos y sus interacciones, convierten el libro en una obra de referencia, indispensable para todos los interesados en tales temas. Además, debe indicarse que se incluyen algunos datos y comentarios sobre la situación colombiana, en especial relacionados con la evidencia de los cambios negativos que ya se detectan en nuestro propio país.**

# CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

- En la segunda, un artículo de G. Poveda y K. Pineda, investigadores de la Escuela de Geociencias y Medio Ambiente de la Facultad de Minas, informan que ocho glaciares tropicales del país desaparecieron durante el siglo XX, en tanto que los remanentes seis muestran alarmantes tasas de deshielo en la última década. Mediante la aplicación de modernas técnicas al análisis de imágenes satelitales, los autores del artículo han encontrado que la cobertura de hielo de estos últimos ha pasado de 60 kilómetros cuadrados en 2002 a 45 en 2007, lo cual arroja una tasa promedio de 3 kilómetros cuadrados perdidos cada año. De continuar esta tasa hacia el futuro, los seis glaciares habrán desaparecido en 2022, aunque en el artículo se señala que diversos procesos físicos allí discutidos pueden acelerar el retroceso del hielo. Unos importantes hallazgos que reducen en forma drástica los plazos previstos en 2007 por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Como consecuencia de la anterior situación se está poniendo en peligro la provisión de agua para grandes ciudades y centenares de poblaciones rurales a lo largo de los Andes colombianos, al igual que se puede afectar la generación hidroeléctrica, tan importante para el país. Pero también es preocupante el futuro de los páramos, unos ecosistemas reconocidos por su fragilidad, y de los bosques de niebla, lo cual contribuye a incrementar los actuales problemas ambientales y sociales de los Andes tropicales con los consiguientes efectos negativos sobre una región bien apreciada por su biodiversidad.

# CAMBIO CLIMÁTICO EN COLOMBIA

- Es lamentable lo que nos muestra esta importante y significativa fotografía tomada recientemente por el ingeniero Álvaro José Jaramillo Mora, pues nos muestra el estado de un nevado muy querido por los colombianos y, en particular, por los habitantes cercanos al mismo.
- Agregan los autores del artículo publicado en la revista Avances en Geociencias que el Ruiz muestra en la actualidad una actividad volcánica de bajo nivel, lo cual acelera el proceso de calentamiento y en consecuencia la pérdida glaciár.

## NEVADO DEL RUIZ

Estado reciente según una fotografía tomada el 19 de marzo de 2011 por el ingeniero Álvaro José Jaramillo Mora



### *Estimaciones del artículo de Poveda y Pineda:*

Área glaciár del nevado en 1989: 14,06 km<sup>2</sup>

Área glaciár del nevado en 2004: 8,66 km<sup>2</sup>

Pérdida promedio en dicho período: 38%

Retroceso promedio: 36 ha por año

# **LA UNIVERSIDAD DEL FUTURO**



# LA UNIVERSIDAD DEL FUTURO

## 7. LA UNIVERSIDAD DEL FUTURO



UNA INTERACCIÓN NECESARIA

La universidad del futuro será aquella que logre el encuentro de científicos y técnicos, por un lado, con humanistas y artistas, por el otro.

Dichas visiones, a pesar de ser complementarias y exigir interacción, se encuentran muy separadas, y ello puede explicar en algún grado una de las tragedias de los tiempos actuales: el avance y dominio de la tecnología, frente al retraso de los valores y la condición humana.

Las dos dimensiones o visiones del mundo constituyen formas complementarias de conocimiento y de crítica. Es fácil ver su interacción en los estudios o proyectos de alguna complejidad, así como la necesidad del encuentro interdisciplinario.

# LA UNIVERSIDAD DEL FUTURO

- El 7 de mayo de 1959 se pronunció en Londres una conferencia que desataría una de las más intensas controversias intelectuales en la historia de Occidente. Estuvo a cargo de C. P. Snow, científico y novelista a la vez, y su título fue “Las dos culturas y la revolución científica”. En ella criticaba la separación existente entre la cultura de los científicos y la cultura de los letrados, a la vez que señalaba las graves consecuencias sociales originadas en la falta de interacción entre ambas culturas.
- 51 años después de la conferencia de Snow, ciertas tendencias permiten afirmar que hoy existe mayor conciencia del problema de las dos culturas y que en algunos casos puede estar cerrándose la brecha entre las mismas, aunque a ello se opongan diversos intereses políticos, económicos y académicos. Aquellas tendencias incluyen la interacción creciente entre disciplinas y profesiones sobre todo cuando se emprenden grandes proyectos, el uso en algunas ciencias humanas de métodos y modelos antes reservados a las ciencias naturales, y la aparición de carreras académicas híbridas que toman elementos de ambas culturas.
- Finalmente, ojalá podamos hacer realidad lo que dice Edgar Morin en un documento de la Unesco: “El humano es a la vez físico, biológico, psíquico, cultural, social, histórico. Es esta unidad compleja la que está completamente desintegrada en la educación a través de las disciplinas y que imposibilita aprender lo que significa ser humano. Hay que restaurar dicha unidad compleja de tal manera que cada uno desde donde esté tome conciencia de su identidad compleja y de su identidad común”.

# LA UNIVERSIDAD DEL FUTURO

## LA CULTURA CIENTÍFICA DEBE DEFENDER LAS CULTURA DE LAS ARTES Y LAS HUMANIDADES

- Muchas universidades recortan o suprimen los programas de artes y humanidades
- “Aprendí a pensar críticamente, a analizar en profundidad y a escribir con claridad en los cursos universitarios de humanidades, no en los cursos de ciencias”
- Las fuerzas del mercado no deben controlar la educación
- La preservación de ideas e información no rentable
- Los peligros de la burocratización

En un artículo publicado en Noticias de la revista Nature No. 468 del 22 de diciembre de 2010, Gregory Petsko, profesor de bioquímica y química de la Universidad de Brandeis en Estados Unidos, hace un llamado para que los científicos se opongan a la actual tendencia de recortar o suprimir en las universidades los programas de artes y humanidades.

El artículo se puede encontrar en <http://www.nature.com/news/2010/101222/full/4681003a.html>

Se señala allí cómo en décadas recientes se empieza a imponer en muchas universidades del mundo un manejo administrativo y burocrático que pretende responder a las fuerzas del mercado.

Además, el autor revela la importancia formativa que para él tuvo su paso por los cursos de humanidades y artes, algo que no le fue aportado por los cursos científicos y técnicos.

A este respecto, agregaríamos dos cosas:

- Bien sabemos cómo la llamada sabiduría del mercado, sobre todo no regulado, llevó a la actual crisis financiera mundial.
- Y la importancia de discutir la actual propuesta del Gobierno colombiano sobre la participación del sector privado en la educación superior. Ver la columna de prensa del autor de esta conferencia en <http://www.valenciad.com/Columnas/201106.pdf>

# LA UNIVERSIDAD DEL FUTURO

## EDWARD O. WILSON Y LA CONSILIENCIA

- Un libro revelador sobre la unificación del conocimiento.
- La información genética como base.
- Crítica a la fragmentación de las disciplinas.
- Crítica al posmodernismo.
- Ver reseña del libro por Alec A. Schaerer en <http://homepage.mac.com/eliaskreye/pdf/Wilson-Review.pdf>

El distinguido biólogo Edward O. Wilson va más allá de lo propuesto por Snow pues cree que todo el conocimiento está en el fondo unificado y que un pequeño conjunto de leyes naturales rige disciplinas que nos parecen dispares. Las conexiones e interacciones de dichas leyes constituyen lo que Wilson denomina consiliencia, un neologismo que quiere decir “saltar juntos”.

En un bello libro publicado en 1998 con dicho nombre, Wilson echa de menos el programa integrador de la Ilustración y se propone demostrar que las ciencias naturales, en especial la biología, proporcionan un modelo y unos métodos de trabajo para todas las disciplinas. Sustenta lo anterior en que toda actividad viviente depende de la información genética, para lo que estudia la química del cerebro y las bases genéticas de la cultura. Señalemos su intento por demostrar que el arte de todos los tiempos responde a principios biológicos subyacentes.

Al igual que Edgar Morin, se opone a la fragmentación de las disciplinas y a su creciente especialización.

El libro es, pues, una invitación a que saltemos juntos.

# LA UNIVERSIDAD DEL FUTURO

## EL MÉTODO CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar, Operar)

- Iniciativa mundial (ver <http://www.cdio.org/>)
- Experiencias de aprendizaje en grupo a partir de proyectos de los propios estudiantes
- Se enfatiza la fundamentación en ingeniería en el contexto de C. D. I. O.
- Se trabaja con productos y sistemas del mundo real
- Una base para el planeamiento curricular y la evaluación de resultados

## APÉNDICE: EL MÉTODO CDIO (Concebir, Diseñar, Implementar y Operar)

- Una iniciativa universitaria de las ingenierías y la medicina
- Movimiento pedagógico internacional liderado por universidades como el MIT
- La experiencia de la Universidad Nacional
- Tres seminarios sobre proyectos en ingeniería
- Trabajo interdisciplinario cercano a lo real
- Aprendizaje basado en proyectos o en problemas con ayuda del método CDIO

- **Unos comentarios con respecto a la experiencia de unos seminarios sobre proyectos en ingeniería que, con el liderazgo de la Facultad de Minas, se vienen llevando a cabo en la sede Medellín de la Universidad Nacional de Colombia.**
- **Se trata de tres cursos al principio, en el medio y hacia el fin de la respectiva carrera, en los cuales confluyen todos los estudiantes de la Facultad para desarrollar un proyecto interdisciplinario, en equipo, lo más cercano posible al mundo real y con la consideración de múltiples aspectos: técnicos, jurídicos, económicos, financieros, sociales, ambientales, de sensibilidad y de riesgos. Son necesarios un Informe escrito, una presentación oral y una muestra abierta al final, se cuenta con jurados externos y se otorgan premios.**
- **Un grupo de profesores con mucha paciencia por años ha insistido en el tema de la pedagogía y finalmente maduró esta propuesta que se considera recoge algunas experiencias anteriores; pone las diferentes carreras en una perspectiva mundial pues las actividades están enmarcadas en un movimiento pedagógico internacional, liderado por universidades de primer orden, como el MIT.**
- **Ha sido muy satisfactorio registrar el avance palpable de los estudiantes en tan sólo un semestre, sobre todo por la forma como desarrollan una práctica autónoma. La participación del profesor es bien diferente a la tradicional: más que facilitador se convierte en catalizador. Como es obvio, todos los cambios traen resistencia y no todos apoyan esta experiencia. Pero sí se ha contemplado como indispensable un mayor acento en la innovación y en los vínculos con el mundo real.**
- **El método CDIO es empleado tanto para el aprendizaje basado en proyectos como para el aprendizaje basado en problemas. Tal como señala el sitio de internet del método, los colaboradores del CDIO reconocen que la educación en ingeniería se adquiere a lo largo de muchos años y que los educadores pueden aprender de la práctica en muy diversos lugares. Así mismo, que en el CDIO participan desde universidades de gran trayectoria hasta instituciones locales interesadas en la formación básica del estudiante de ingeniería.**

# LA UNIVERSIDAD DEL FUTURO

## Aprendizaje basado en proyectos

(Ver [www.bie.org/about/21st century skills](http://www.bie.org/about/21st_century_skills))

- Una iniciativa de The Buck Institute for Education
- Empieza el trabajo con escuelas de secundaria
- Sigue con la capacitación de profesores
- Responde a cuestiones, problemas o retos de cierta complejidad
- Propicia el aprendizaje de las denominadas competencias claves del siglo XXI

Además de lo señalado en la imagen, es de gran interés que mencionemos lo que allí se llama competencias claves del siglo XXI:

- Conocimiento de los medios de información
- Pensamiento crítico y creativo
- Comunicación y colaboración
- Liderazgo
- Trabajo social e intercultural
- Autoevaluación
- Ética y responsabilidad civil
- Rendición de cuentas
- Manejo de proyectos

# EPÍLOGO

## ¿QUÉ PASA EN FINLANDIA?

- Primer país en las pruebas PISA que miden el rendimiento de estudiantes de 15 años en áreas de importancia
- Jornadas cortas sin exámenes ni sobrecarga de tareas en casa
- Sin discriminación por estrato, origen o familia
- Lo fundamental es la preparación de los profesores
- Una educación que promueve creatividad, iniciativa, flexibilidad y habilidad para aplicar el conocimiento a situaciones nuevas

- Terminamos esta presentación con una admiración por los resultados actuales de la educación en Finlandia, un caso que atrae la atención del mundo.
- Y se menciona esta experiencia como epílogo porque tiene mucho que ver con lo que hemos venido diciendo con respecto a la formación de los futuros ingenieros.
- Los interesados en este caso pueden consultar en [http://www.otraescuelaesposible.es/pdf/secretos\\_finlandia.pdf](http://www.otraescuelaesposible.es/pdf/secretos_finlandia.pdf)
- Un informe titulado “LA EDUCACIÓN EN FINLANDIA: Los secretos de un éxito asombroso” en el cual Paul Robert, director de un colegio en Francia, después de una visita al país destaca los siguientes puntos:
  - Cada alumno es importante
  - El respaldo y aprecio que en país se siente por la tarea del profesor
  - La evaluación como una palanca de cambio