



EL ARTE ESTRUCTURAL Y SU CONTEXTO EN LA ENSEÑANZA

Ing. Esteban Villalobos-Vega, M.Sc.

Unidad de Puentes

Programa de Ingeniería Estructural

esteban.villalobos@ucr.ac.cr



Figura 1.- Vista lateral del puente Salginatobel en Suiza, diseñado por el ingeniero estructural Robert Maillart: Obra cumbre del arte estructural.
(Tomado de <http://www.picture-newsletter.com/salgina/index.html>)

Comité editorial:

Ing. Esteban Villalobos - Vega, M.Sc.

Coordinador Unidad de Puentes

Programa de Ingeniería Estructural

Ing. Rolando Castillo - Barahona, Ph.D.

Coordinador General

Programa de Ingeniería Estructural

INTRODUCCIÓN

Si a los estudiantes de grado de ingeniería civil se les preguntara cuál es su modelo o modelos a seguir como ingenieros o cuando menos por cuales obras de algún profesional determinado sienten más respeto o admiración, usted como lector ¿cree que en la gran mayoría de los casos se obtendría una respuesta o que más bien un alto porcentaje no sabría que decir? Se debe señalar que tanto en las aulas como en la vida profesional, en muy pocas ocasiones se aborda el estudio de la evolución de la ingeniería civil hasta el presente en sus distintas ramas, así como de los ingenieros destacados que forjaron esa historia y las obras que estos desarrollaron durante su carrera.

Sin embargo, si es habitual escuchar en reiteradas ocasiones incluso en los diferentes medios de comunicación, acerca de los trabajos de arquitectos como por ejemplo Santiago Calatrava, Frank Gehry o Norman Foster, independientemente de lo adecuado o no de su obra. Es por supuesto el mismo caso de la pintura, la música, el cine y en general las artes, en donde es común escuchar sobre los grandes artistas, antiguos y modernos, y sus principales obras.

En las últimas décadas, los ingenieros civiles y estructurales se han enfocado unilateralmente en el aspecto racional-analítico del área de responsabilidad, y por lo tanto, han perdido la visión de su real y original área de actividad, la cual comprende una mezcla de conocimiento lógico y empírico (International Network for Structural Art_ Annette Bögle, 2012). Es debido a lo anterior que muy pocas personas conectan la forma cuidadosa, esbelta y elegante de una torre de televisión o la excelente proporcionalidad de un puente con la creatividad y personalidad de un ingeniero.

La habilidad para imaginar cosas que no existían antes, para hacerlas realidad, se puede llamar creatividad, y como el diseño estructural debe incluir esta tarea, es posible reconocer su afinidad con otras actividades creativas tales como la escultura, la poesía y la música, en donde la principal diferencia es el uso necesario de los principios de la ciencia como un facilitador primario de la innovación (International Network for Structural Art_ Paul Gauvreau, 2012).

Es acá donde el tema del Arte de la Ingeniería Estructural se vuelve importante, ya que uno de sus aportes más significativos es que provee un vocabulario y un marco conceptual para ayudar a estudiantes y profesionales, a articular sus reflexiones acerca de trabajos

excepcionales de ingenieros estructurales a lo largo de la historia y aprender a descubrir al mismo tiempo su entusiasmo por ellos. Además, por qué no, desarrollar la capacidad de crear por sí mismos "obras de arte estructural".

EL ARTE DE LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL

La Figura 2 representa una imagen que sintetiza el concepto del arte estructural, no sólo por el significado que encierra sino además por la historia de donde proviene. Se podría pensar al verla que la misma fue el fruto del trabajo de un escultor o de un arquitecto; sin embargo, es la propuesta muy seria de un ingeniero estructural suizo: Heinz Isler.



Figura 2.- Imagen correspondiente a la figura 9 del artículo "New shapes for shells" (Isler, 1961).

En 1959 y a propósito del primer congreso de la "International Association for Shell Structures", se

presentaron 24 artículos que no generaron mayor discusión o interés (Billington, 1983). Sin embargo, el artículo número #25 sí causó un gran impacto por la cantidad y calidad de discusión que generó. El artículo tenía aproximadamente una sola página de texto y nueve figuras, de las cuales la última era la de la Figura 2, en donde los esquemas mostrados representan, a criterio de Isler, las posibilidades casi ilimitadas de estructuras tipo cascarón creadas por medio de tres técnicas, entre las cuales la tela colgante invertida (resistencia a compresión pura), era la más audaz. El hecho de combinar la observación de la naturaleza en la búsqueda de la forma con el rigor científico (juego y disciplina) y combinarlo a la vez con la estética, le dieron con el tiempo la razón a Isler a través de una enorme cantidad de estructuras diseñadas y construidas, aún en servicio hoy en día, principalmente en Suiza.

EL DESARROLLO DEL CONCEPTO

La etapa de proyección y diseño de las estructuras está inmersa en un contexto social, político, económico, cultural y ambiental que, aunque algunas veces se deja de lado, al final de alguna u otra forma los influye. Debido a esto, el diseño de estructuras debería tomar en cuenta una gama de variables en las distintas etapas del proceso hasta llegar a los planos y especificaciones constructivas, tendientes a llegar a la mejor solución entre varias opciones posibles. Es precisamente dentro de esta visión de conceptualizar y ver las estructuras de una forma integral que se enmarca la idea del Arte de la Ingeniería Estructural (Billington, 1983).

El concepto fue propuesto y ampliamente desarrollado en el libro "The Tower and the Bridge" por el profesor David P. Billington de la Universidad de Princeton. La idea del libro le surgió a Billington después de conocer, gracias a la sugerencia de estudiantes de arquitectura, de ciertas obras conceptualizadas por completo, o al menos en su gran mayoría, por ingenieros estructurales, que eran además verdaderas obras de arte a su criterio. Por citar un ejemplo, está el caso de muchos de los proyectos del ingeniero estructural Robert Maillart, de quien el Museo de Arte Moderno de New York (MoMA) realizó una exhibición en 1947 (Ver Figura 3).



Figura 3.- Fotografía de la exhibición en el MoMA sobre Robert Maillart en 1947 (Tomado de <https://www.moma.org/artists/66301>).

Así, Billington desarrolló un estudio exhaustivo de la obra y vida de este y otros ingenieros estructurales, remontándose desde la época de la revolución industrial. Esto le permitió ver el patrón de un concepto existente pero aún sin revelar, a lo cual llamó: Arte de la Ingeniería Estructural o simplemente Arte Estructural.

Más que simples ideas o una discusión meramente académica o de historia, finalmente lo importante del concepto del Arte Estructural y la razón por la cual ha traspasado barreras culturales y ha perdurado a través de los años es, en primer lugar, el rol de importancia e injerencia que se le da a la ingeniería estructural en el desarrollo del mapa urbano y cultural, y luego al papel de relevancia que se le da a la honestidad y la ética profesional, con el objetivo no llevar a cabo obras que afecten a los clientes o a la sociedad de forma negativa.

Para países en vías de desarrollo, como lo es Costa Rica, o para países desarrollados en crisis, como ha sucedido en reiteradas ocasiones en este siglo, esto implicaría un uso más eficiente de los recursos; pero también la certeza de que, aunque los recursos sean escasos, eso no significa que las obras tienen que ser de mala calidad o visualmente desagradables.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se presenta una lista de ejemplos de ingenieros estructurales cuyas obras y vidas se pueden circunscribir al Arte Estructural. Los trabajos de estos ingenieros incluyen puentes ferroviarios, mercados, puentes vehiculares, edificios, naves industriales, represas, torres, bodegas, rascacielos, restaurantes, gimnasios deportivos, puentes peatonales, estaciones de servicio, iglesias, domos, entre muchos otros tipos de estructuras. (Billington, 1976 y 1983; Virlogeux, 1996; International Network for Structural Art, 2012; Hu, Feng y Dai, 2014) (Ver Figura 4):



- Juan José Arenas de Pablo,
- Fazlur Rahman Khan,
- Isambard Kingdom Brunel,
- T. Y. Lin,
- Robert Stephenson,
- Frei Otto,
- William Frazier Baker,
- Jörg Schlaich,
- Atsushi Hirai,
- Eladio Dieste,
- Gustave Eiffel,
- John Augustus Roebling,
- David B. Steinman,
- Michel Virlogeux,
- Othmar Ammann,
- Julius Natterer,
- Leslie Earl Robertson,
- Li Guohao,
- Ulrich Finsterwalder,
- Robert Maillart,
- Pier Luigi Nervi,
- James B. Eads,
- Eduardo Torroja-Miret,
- Christian Menn,
- Franz Dischinger,
- Felix Candela Outeriño,
- Laurent Ney,
- Benjamin Baker,
- Eugène Freyssinet,
- Man-Chung Tang,
- Heinz Isler,
- Jean M. Muller,
- Eugene C. Figg,
- Albert Irénée Caquot,
- Fritz Leonhardt,
- Evgeny Gibshman,
- Thomas Telford,
- Anton Tedesko,
- René Greisch,
- etc.

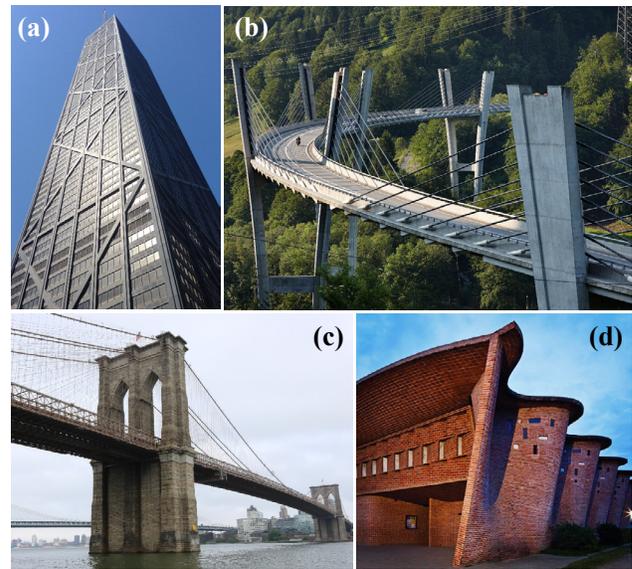


Figura 4.- Arte Estructural: (a) John Hancock Center de Fazlur R. Khan; (b) Puente Sunniberg de Christian Menn (Menn y Schärer, 2015); (c) Puente de Brooklyn de John A. Roebling; (d) Iglesia de Atlántida de Eladio Dieste (Pedreschi, 2014).

LAS TRES DIMENSIONES DEL ARTE DE LA INGENIERÍA ESTRUCTURAL

De acuerdo con Billington (1983), el Arte Estructural puede ser entendido a través de lo que él llama las tres dimensiones:

- **Científica:** Se refiere a como la estructura es diseñada para transmitir de forma segura las cargas al terreno y los materiales que son usados para ello. Se mide a través de la eficiencia.
- **Social:** La sociedad como tal está involucrada en el planeamiento de las obras estructurales, muchas veces a través del pago de impuestos o del comercio privado. Por ello, esta dimensión se mide a través de la economía, tanto en el corto como en el largo plazo, y por el beneficio que le pueda brindar al público en general en relación con el costo. Además, está comprendida también en el contexto político.
- **Simbólica:** Si bien es cierto un uso mínimo de materiales y una relación costo-beneficio óptima son imperativos en el diseño estructural, no necesariamente de esa combinación resultará una obra elegante o visualmente agradable: se requiere de una motivación estética consciente del ingeniero estructural. Entonces, esta dimensión se mide por la elegancia y la estética de la obra.

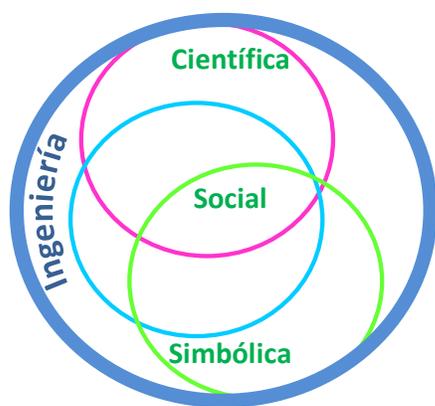


Figura 5.- La síntesis dinámica del arte estructural.

Cuando se logra la eficiencia, la economía y la elegancia en una obra de ingeniería estructural, cualquiera que esta sea, es entonces que se ha alcanzado el denominado Arte Estructural (Ver Figura 5).

De acuerdo con Hu, Feng y Dai (2014), hay ciertas condiciones que propician no sólo la síntesis del arte estructural, sino también la creatividad. La primera tiene que ver el dominio y el seguimiento de los principios estructurales, lo cual da la libertad de poder escoger formas estructurales de entre muchas opciones, que son a la vez seguras. Lo segundo tiene que ver con la eficiencia de los materiales a utilizar y la comprensión de su comportamiento, ya sean estos materiales clásicos o de reciente invención. Por supuesto debe haber una motivación estética personal (diferente a reglas estéticas específicas), y no simplemente el interés de cumplir un requisito impuesto. Por último, la creación de ambientes competitivos, ya sea porque no es una sola persona o empresa la que domina el sector, o porque los proyectos de diseño son ganados a través de concursos en los que se toma en cuenta no solamente el costo.

OTROS CRITERIOS SOBRE EL ARTE ESTRUCTURAL

Además del Profesor Billington existen otros criterios similares a nivel mundial respecto a ver las estructuras de una forma más integral, por ejemplo, Christian Menn (2015), Eduardo Torroja-Miret (1960), Pier Luigi Nervi (1966), Michel Virlogeux (1996), Fazlur R. Khan (1980) y Fritz Leonhardt (1984). A manera de ejemplo, en el caso de puentes se presenta a continuación a Christian Menn y en el caso de edificaciones a Eduardo Torroja.

• **Christian Menn (Suiza):** Es el diseñador de puentes como el Felsenau, Ganter (Ver Figura 6) y Sunniber en Suiza, así como el Zakim en Boston, EUA, entre muchos otros.

Para Menn, el ingeniero de puentes tiene el deber de diseñar puentes que satisfacen ciertas metas u objetivos mínimos (Menn y Schärer, 2015).

Los primeros objetivos tienen que ver con la función estructural y son generalmente definidos por las normativas: seguridad estructural, la cual significa brindar seguridad contra el colapso de la estructura o de componentes individuales. Dentro de estos mismos, Menn incluye como un objetivo individual a la durabilidad, la cual significa proveer una vida de servicio libre de mayor mantenimiento por al menos 75 años, entendiendo a la vez que el puente está integrado por componentes con diferentes vidas útiles, y que tanto la calidad de los materiales como los detalles estructurales influyen de manera importante. El último objetivo, la serviciabilidad, incluye límites en las deformaciones y las vibraciones, y tiene que ver con el confort del usuario y una aceptable condición visual de la estructura.



Figura 6. Puente Ganter en Suiza (Tomado de <http://picsr.com/tags/ganterbrücke>)

Los objetivos que Menn denomina como subjetivos y creativos, y los cuales no son gobernados por la normativa, son: un adecuado grado de economía, el cual debe incluir el costo de construcción, mantenimiento, y demolición al final de la vida de servicio. La última meta en mencionar, pero no por ello la menos importantes, es la calidad estética, la cual es la más importante componente de la esencia cultural de un puente.

En la Figura 7 se muestran gráficamente estos objetivos representados como un juego de dardos, y en donde, entre más pequeño sea el círculo, más difícil será acertar. Hay dos razones por las cuales los requisitos de la función estructural (seguridad, durabilidad y serviciabilidad) están agrupados en los círculos externos y en cambio los objetivos subjetivos (costo y calidad estética) están agrupados en el centro y además están sombreados.

En primer lugar, de acuerdo con Menn, los objetivos externos son normalmente especificados en la normativa, son enseñados ampliamente en las universidades, y no requieren de mayor experiencia, ni creatividad, ni imaginación; en cambio, los objetivos sombreados no pueden ser definidos por normas, y son tareas que deben considerar el entorno, el significado cultural, la exposición visual, los residentes locales y usuarios, y por lo tanto requieren de experiencia en aspectos técnicos de diseño, construcción, y estimación de costos, así como de creatividad e imaginación.

En segundo lugar, según Menn, los objetivos técnicos son mutuamente compatibles, y en cambio, la economía y la calidad estética son normalmente incompatibles, y obtener un balance entre estas dos metas puede ser alcanzado sólo con ingenio durante el diseño conceptual.

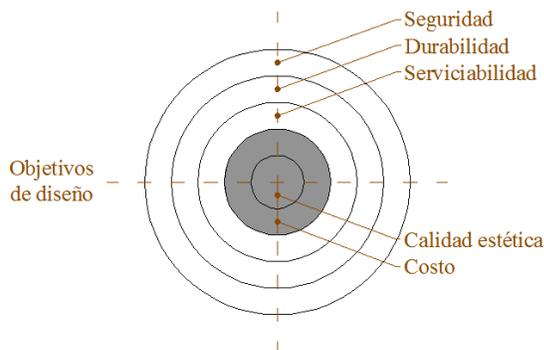


Figura 7.- Objetivos generalmente aplicables al diseño de puentes según Menn (Menn y Schärer, 2015).

•**Eduardo Torroja-Miret (España):** Fue el diseñador de obras tales como las cubiertas y graderíos del Hipódromo de la Zarzuela (Ver Figura 8), del Mercado de Abastos de Algeciras y del Frontón Recoletos, todas estas en España, entre muchas otras.

Torroja-Miret esquematizó el diseño de estructuras como una formulación matemática en la que intervienen *ecuaciones e incógnitas* (Torroja-Miret, 1960).

En las ecuaciones, está en primer lugar la finalidad utilitaria de cada proyecto, y en esta se pueden distinguir características esenciales, convenientes o simplemente accesorias. Luego está la función estática que toda estructura debe cumplir, y que no basta con asegurarla contra rotura, ya que están también las condiciones de servicio que deben ser satisfechas. Luego se tienen las condiciones económicas, en donde se debe buscar el menor costo de ciclo de vida posible, no solo el inicial, y en este sentido hay también una responsabilidad social. Por último están las cualidades estéticas, las cuales deben incluirse siempre; el pensar sólo en la estructura es un defecto corriente del técnico, del mismo modo que lo es, por parte del artista, el menospreciar la estructura al idear el diseño general y los detalles en conjunto (Torroja-Miret, 1960).



Figura 8. Hipódromo de la Zarzuela en España (Tomado de www.flickr.com).

Para resolver las anteriores *ecuaciones*, se dispone de una serie de *incógnitas*, las cuales son los materiales, el tipo estructural, la forma y dimensiones resistentes, y debe tomarse en cuenta además la técnica o proceso de construcción que se pretende seguir en conjunto con su plazo de ejecución. Las cuatro *incógnitas* van unidas y se influyen mutuamente; sólo una atinada elección de las cuatro puede dar la solución óptima; ninguna puede considerarse independiente de las otras; ninguna puede olvidarse (Torroja-Miret, 1960).

Sólo mediante un profundo conocimiento de las características mecánicas de los materiales, de las técnicas que cada uno requiere y de los medios de que se dispone para manejarlos, se puede atinar en la elección conveniente, tanto de los materiales como de los procesos constructivos, y encontrar el tipo estructural óptimo con sus formas resistentes ajustadas a todas las exigencias.

Los recursos de cálculo sólo sirven para afinar las dimensiones o para comprobar si están suficientemente afinadas. Todo lo demás se puede obtener por métodos deductivos, es subjetivo y opinable. Por eso, el diseñar, si bien tiene mucho de ciencia y de técnica,

tiene mucho más de arte, de sentido común, de afinidad, de aptitud, de deleite en el oficio de imaginar el diseño oportuno (Torroja-Miret, 1960).

PREMIOS A LA EXCELENCIA EN INGENIERÍA

En el caso de que exista duda de que la forma integral (dimensiones social, científica y simbólica) de ver las estructuras es un tema del cual la ingeniería estructural debería ocuparse, es necesario hacer notar que en las últimas décadas ha crecido el número de premios públicos a la excelencia por diseños de ingeniería, incluyendo por ejemplo el *PCI Design Award* (Precast/Prestressed Concrete Institute), *Structural Awards* (The Institution of Structural Engineers), *IDEAS² Awards* (American Institute of Steel Construction), *ACI Excellence in Concrete Construction Awards* (American Concrete Construction), *The Concrete Society Awards* (The Concrete Society), *British Construction Industry Awards* (New Civil Engineer // Institution of Civil Engineers), *Gustav Lindenthal Medal* (Engineer's Society of Western Pennsylvania), *Ernest E. Howard Award* (American Society of Civil Engineers), *Torroja Medal* (The International Association for Shell and Spatial Structures), *The Outstanding Structure Award* (International Association for Bridge and Structural Engineering), entre otros.

ENSEÑANZA DEL ARTE ESTRUCTURAL

La educación, así como la tradición cultural, ha tenido una fuerte influencia en la carrera de muchos de los ingenieros considerados artistas estructurales (Hu, Feng y Dai, 2014).

Ahora bien, ¿podrá un ingeniero estructural ser educado desde las aulas para crear grandes obras y de qué forma se deberían dar cursos enfocados con ese fin? Lo cierto es que al igual que en las disciplinas artísticas no se forma a los estudiantes con el objetivo de crear al próximo Bach, Picasso o Giacometti, o en física crear al próximo Einstein, en ingeniería es más importante dotar a los estudiantes de un pensamiento crítico hacia el ejercicio de la profesión, y de las herramientas para buscar su propio camino, ya que incluso la gran mayoría de los grandes ingenieros estructurales llevaron a cabo sus mejores obras a una edad ya avanzada. En el peor de los casos, habrán recibido por lo menos una educación más integral de la que reciben ahora.

Si en arquitectura y otras disciplinas no se ve como una amenaza a la profesión enseñar y estudiar la

historia y casos específicos de profesionales a lo largo de su carrera, pues en ingeniería civil tampoco debería verse como algo amenazante.

David Billington identificó esta pieza faltante y a la vez crítica de la educación en ingeniería civil y ofreció, hasta su retiro hace algunos años, el curso introductorio "CEE262- Structures and the Urban Environment" en la Universidad de Princeton desde 1974. Por medio de este curso, Billington desarrolló ejemplos históricos para ilustrar como los profesores pueden influenciar a sus estudiantes en el salón de clases, y como los jóvenes ingenieros son capaces de realizar trabajos de valor perdurable. El curso usaba metodologías numéricas históricas y estéticas para estudiar varias estructuras, partiendo desde la revolución industrial.

Recientemente se ha desarrollado una versión avanzada del curso CEE262 por parte de las profesoras de la misma universidad Maria Garlock y Sigrid Adriaenssens. En este se incluyen tópicos adicionales tales como fabricación de modelos, observaciones en el sitio, desarrollo de exhibiciones y un sitio web (International Network for Structural Art_ Adriaenssens y Garlock, 2012). El tema cambia cada vez que el curso se abre y los temas durante el 2011, 2013, 2014 y 2016 fueron respectivamente: "Fazlur Khan: Structural Artist of Urban Building Forms" (<http://khan.princeton.edu/>); "Evolution of German Shells: Efficiency in Forms" (<http://shells.princeton.edu/>); "The Art of Spanish Bridge Design" (<http://spanishbridges.princeton.edu/>); "Creativity in Cuban Thin Shell Structures" (<https://cubanshells.princeton.edu/>).

De acuerdo con datos de la Academia Nacional de Ingeniería de los EUA (NAE por sus siglas en inglés), menos del 40% de los estudiantes que empiezan sus carreras en las áreas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas, terminan sus estudios en estas áreas, lo cual se debe a un gran número de cursos introductorios poco inspiradores, metodologías de enseñanza deficientes y falta de diseminación efectiva de las mejores prácticas docentes (Garlock et al.; 2015). Con el objetivo de sobrellevar estos obstáculos a través de cursos de ingeniería civil que utilizaran técnicas de pedagogía con la participación activa de los estudiantes, es que la Fundación Nacional de Ciencias de los EUA (NSF por sus siglas en inglés) patrocinó el proyecto multi-institucional CASCE ("Creative Art of Structural and Civil Engineering") liderado por la Universidad de Princeton, y el cual se basa en el trabajo del profesor Billington (Garlock et al.; 2015).

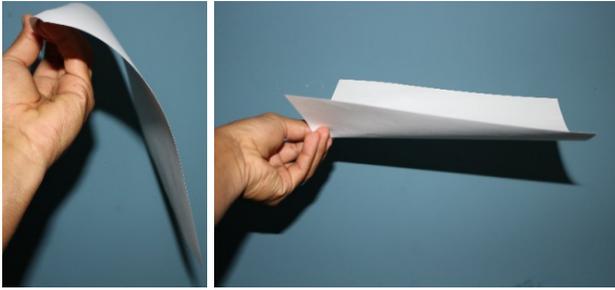


Figura 9.- Modelo simplificado del concepto del uso de la forma para resistir cargas por medio de una hoja de papel.

La idea es que los estudiantes aprecien el rol de la ingeniería civil en la vida cotidiana, y su importancia en la creación y el desarrollo de la vida moderna. CASCE posee una página web (<http://casce.princeton.edu/>) con una gran cantidad y variedad de material didáctico enfocado al tema del Arte Estructural, que puede ser usado por profesores de ingeniería civil para enriquecer aún más sus lecciones. Por ejemplo, con algo tan sencillo como el estudio de la forma de una hoja de papel en voladizo para poder resistir su propio peso, se enseña a los estudiantes la importancia de la observación y entendimiento de las leyes naturales para su aplicación en la práctica profesional (Ver Figura 9).

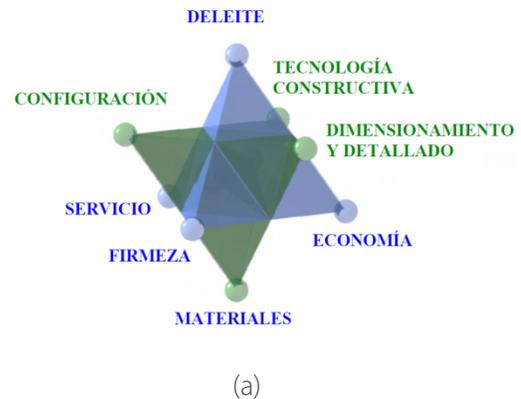
Como ellos, hay otras universidades en EUA, Europa e incluso China (Hu, Feng y Dai, 2014), que han empezado a dar cursos relacionados con el tema.

EL CASO DE COSTA RICA

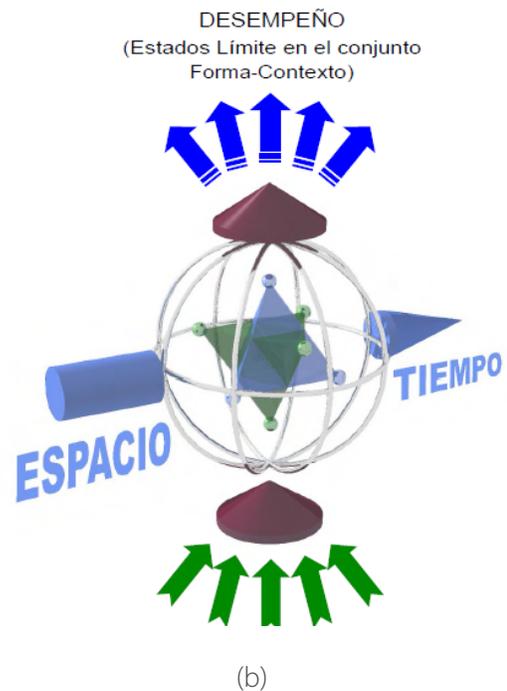
En Costa Rica el tema fue tratado ampliamente por el profesor emérito de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, el doctor Jorge Gutiérrez, en el curso de grado IC-1011 *Diseño Estructural* y en el curso de posgrado SP-2723 *Diseño Estructural Avanzado*, así como en numerosos artículos y participaciones en conferencias a nivel nacional e internacional.

Una de las diferencias fundamentales en la forma en la que el profesor Gutiérrez presentaba el tema, fue que él abarcaba no sólo desde la revolución industrial, sino mas bien desde los inicios mismos de la civilización humana, y la evolución de las estructuras desde el uso completamente empírico y basado en la experiencia, que él denomina construcción vernácula, hasta el desarrollo del método científico y sus implicaciones en la profesión.

Basándose en los escritos del autor clásico Vitruvio, el profesor Gutiérrez plantea la síntesis del diseño estructural según se puede observar en la Figura 10(a), como una relación dialéctica entre lo que él denomina la *intención* (deleite, servicio, firmeza y economía) que apunta hacia arriba, y la *materialidad* (materiales, configuración, tecnología constructiva, dimensionamiento y diseño) que más bien apunta hacia abajo (Álvarez-Oquendo, 2005).



(a)



(b)

Figura 10.- Representaciones dialécticas: (a) Intención – Materialidad; (b) Forma – Contexto; según el profesor Jorge Gutiérrez (Álvarez-Oquendo, 2005).

En la Figura 10(b) se muestra representada la relación entre la *forma* definida en el diseño y lo que se denomina como el *contexto*, el cual es representado por las acciones externas según las cuales es necesario obtener un desempeño adecuado, y en donde además, esta relación dialéctica depende de la historia, cultura

y geografía en donde se desarrolla la estructura (Álvarez-Oquendo, 2005).

De esta forma la visión de las estructuras y la enseñanza de su diseño no era enfocada en únicamente un tema como la seguridad estructural, sino más bien era integral y abarcaba aspectos que se interrelacionan de distintas maneras para beneficio de la sociedad, en este caso la costarricense.

EL PENSAMIENTO CRÍTICO EN LA EDUCACIÓN

La palabra *criticar* viene del idioma griego y se podría definir brevemente como el arte de juzgar y examinar.

De acuerdo con Addis (1996), para ser un buen ingeniero estructural es esencial ser capaz de discriminar, por medio de la crítica, entre buenos y malos ejemplos de ingeniería estructural.

La crítica es parte del pensamiento y del trabajo creativo (International Network for Structural Art_ Annette Bögle, 2012).

La crítica es también un catalizador esencial del conocimiento y del progreso, y por lo tanto su ejercicio constante ayuda al crecimiento profesional.

En el caso de la educación, hay mucho que aprender de los colegas en arquitectura, quienes han reconocido desde hace tiempo el valor de una crítica aguda del trabajo de los estudiantes como un método primario de pedagogía (International Network for Structural Art_ Paul Gauvreau, 2012).

En el contexto de la enseñanza del Arte Estructural, la crítica es un elemento esencial que podría ayudar a los estudiantes de ingeniería civil a: desarrollar un vocabulario, articulación verbal y retórica; desarrollar el poder de la observación, discriminación, y del juicio estético; desarrollar el intelecto o confianza en la expresión propia (Addis, 1996). Esto es ahora más importante que nunca en el tanto los ingenieros necesitan articular concisa y persuasivamente sus habilidades, con el objetivo de obtener trabajos de clientes o arquitectos que rara vez entienden completamente lo que los ingenieros hacen (Addis, 1996).

CONCLUSIONES

El Arte Estructural es una forma más integral de entender y aplicar la ingeniería civil a la práctica profesional, ya que involucra toda una gama de aspectos relacio-

nados entre sí que en definitiva tienen un impacto importante en las soluciones finales que se ejecuten, y en la forma en cómo estas se relacionan con su entorno y con la sociedad durante su vida útil.

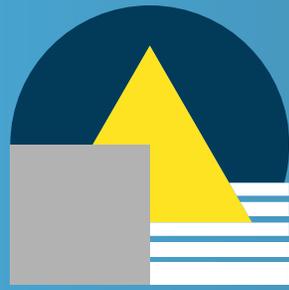
Se ha identificado sin embargo un vacío en los programas de enseñanza de ingeniería civil en cuanto a contextualizar la profesión dentro de un marco histórico en primer lugar, lo cual se refiere a la revisión de los grandes ingenieros y sus obras, y en segundo lugar el impulso de la creatividad en la práctica profesional. En varias universidades a nivel mundial, incluyendo Costa Rica, se han hecho esfuerzos por complementar los programas de estudio con estos conceptos, y al respecto, la promoción del desarrollo de un pensamiento crítico podría ser el catalizador que permita esta visión e implementación más completa y sistémica de la ingeniería civil.

BIBLIOGRAFÍA

- **Addis, Bill** (1996). "Structural criticism and the aesthetics of structures", *IABSE - Congress Report*, Vol. 15, p.p. 121-126.
- **Álvarez-Oquendo, Francisco J.** (2005). "El Arte del Diseño Estructural". *Informe de Graduación para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería Civil*, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- **Billington, David P.** (1976). "Historical Perspective on Prestressed Concrete", *PCI Journal*, Setiembre-Octubre, p.p. 48-71.
- **Billington, David P.** (1983). "The Tower and the Bridge: The New Art of Structural Engineering", *Princeton University Press*, New Jersey, EUA.
- **Garlock, María et al.** (2015). "Proceedings of the Workshops on the Creative Art of Structural and Civil Engineering", *CASCE*, Princeton, EUA.
- **Hu, Nan; Feng, Peng y Dai, Gonglian** (2014). "Structural Art: Past, Present and Future", *Engineering Structures*, Vol. 79, p.p. 407-416.
- **International Network for Structural Art** (2012). "FESTSCHRIFT BILLINGTON – Essays in Honor of David P. Billington". *Editado por: Hines, Eric; Buonopane, Stephen y Moreyra Garlock, Maria*, Princeton, EUA.
- **Isler, Heinz** (1961). "New Shapes for Shells", *Bulletin of the International Association for Shell Structures*, (8), p.p. 123-130.

- **Khan, Fazlur R.** (1980). "Structural aesthetics in architecture and its social and technological relevance", *IABSE - Congress Report*, Vol. 11, p.p. 132-145.
- **Leonhardt, Fritz** (1984). "Towards Better Education of Civil Engineers", *IABSE - Proceedings*, Vol. 8, p.p. 157-163.
- **Menn, Christian y Schärer, Caspar** (2015). "Christian Menn - Bridges", *Scheidegger & Spiess*, Zürich, Suiza.
- **Nervi, Pier Luigi** (1966). "Aesthetics and Technology in Building", *Oxford University Press*, London.
- **Torroja-Miret, Eduardo** (1960). "Razón y ser de los tipos estructurales", *Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, 3^{ra} ed. rev., Madrid, España.
- **Virlogeux, Michel** (1996). "Bridges and the structural art", *IABSE - Congress Report*, Vol. 15, p.p. 127-134.
- **Pedreschi, Remo** (2014). "Eminent Structural Engineer: Eladio Dieste – Engineer, Master Builder and Architect (1917-2000)", *IABSE - Structural Engineering International Journal*, Vol. 24(2), p.p. 301-304.





LanammeUCR

**LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES**

PIE Programa de
Ingeniería Estructural

Ing. Rolando Castillo - Barahona, Ph.D.
*Coordinador General
Programa de Ingeniería Estructural*

Ing. Esteban Villalobos-Vega, M.Sc.
*Coordinador
Unidad de Puentes - PIE*

Ing. Hellen Garita-Durán

Ing. Luis Guillermo Vargas-Alas

Ing. Pablo Agüero-Barrantes, M.Sc.

CENTRO DE TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Diagramación, diseño y control de calidad: Licda. Daniela Martínez Ortiz / Óscar Rodríguez Quintana

EL ARTE ESTRUCTURAL Y SU CONTEXTO EN LA ENSEÑANZA / ABRIL, 2018

Palabras clave: Ingeniería Estructural, Arte Estructural, Enseñanza, Creatividad, Pensamiento Crítico.

Tel. (506) 2511-2500 / Fax (506) 2511-4440 / Código Postal 11501-2060
E-mail: direccion.lanamme@ucr.ac.cr / Sitio web: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr>