

00164



Evolución y Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos

Nanotecnología y Biomimetismo en la Arquitectura

Tesis que para obtener el grado de **Maestro en Arquitectura, Opción
Tecnología** presenta

Ernesto Ocampo Ruiz

en la División de Estudios de Posgrado, Facultad de Arquitectura,
Universidad Nacional Autónoma de México.



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MCMXCIX

27/6/19





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

10
2ej

00164



Evolución y Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos

Nanotecnología y Biomimetismo en la Arquitectura

Ernesto Ocampo Ruiz

Maestría en Arquitectura, División de Estudios de Posgrado, Facultad de
Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México.



MCMXCIX



Director de Tesis:

M. en Arq. Francisco Reyna Gómez

Sinodales:

M. en Arq. Gemma Verduzco Chirino

Dr. en Ing. Marco Antonio Murray Lasso

M. en Arq. e Ing. Jan Van Rosmalen Jansen

M. en Arq. Jorge L. Rangel Dávalos

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**,
en agradecimiento por el apoyo
recibido...

A mis padres, **Ernesto y María Teresa**, quienes me
mostraron el bello horizonte de la
Arquitectura, y cultivaron en mí el
amor por la verdad, la ciencia y la
tecnología, pero que tristemente se
adelantaron en el inevitable camino de
la vida...

A mis **profesores, familiares y amigos**, por su
comprensión, respeto, apoyo y
cariño...

A **Carmina**, con todo el amor que siempre le he
profesado...

INTRODUCCIÓN

a la Evolución y Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos

5

- I. Objetivos.
 - Objetivo General del Trabajo de Investigación.
 - Objetivos Particulares del Trabajo de Investigación.
- II. Importancia, Trascendencia, Validez o Significación del Trabajo de Investigación.
- III. Hipótesis.
- IV. Metodología General de Investigación Aplicada en este Trabajo
 - El Enfoque Prospectivo.
 - El Enfoque Científico.
- V. Metodología Particular de Investigación Aplicada en este Trabajo
 - El Enfoque Particular del Trabajo
 - El Proceso de Evaluación Aplicado en el Trabajo.
- VI. Limitaciones de la Investigación.

CAPÍTULO I

Marco Teórico

13

- 1.1 Relación Personal con el Tema.
- 1.2 Cronotopía del Problema de Estudio.
 - 1.2.1 Dos Visiones, Dos Futuros.
- 1.3 Definición de Material de Construcción y Sistema Constructivo.
 - 1.3.1 Definición de Edificio y Sistema Constructivo.
 - 1.3.2 Patrones de Diseño de los Sistemas Constructivos.
 - 1.3.3 Definición de Material de Construcción.
 - 1.3.4 Propiedades de los Materiales de Construcción.
- 1.4 Definición de Método de Evaluación.
- 1.5 Definición de Evolución.

CAPÍTULO II

Evolución de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos

28

- 2.1 Los Materiales y Sistemas Constructivos de la Antigüedad y Contemporáneos.
 - 2.1.1 Los Materiales y Sistemas Constructivos Antes de la Revolución Industrial.
 - 2.1.2 Los Materiales y Sistemas Constructivos Después de la Revolución Industrial hasta el Siglo XIX.
 - 2.1.2.1 La Industrialización y los Materiales Constructivos.
 - 2.1.3 Los Materiales y Sistemas Constructivos en el Siglo XX.
 - 2.1.3.1 Los Plásticos en la Arquitectura.
 - 2.1.3.2 La Investigación de Materiales como nueva ciencia.
 - 2.1.4 Los Materiales y Sistemas Constructivos Vernáculos.
- 2.2 Los Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos en el Futuro de la Arquitectura: Nanotecnología, Biomimetismo y Genética.
 - 2.2.1 Bajo el Enfoque de la Ingeniería Molecular: La Nanotecnología en la Arquitectura.
 - 2.2.1.1 Nuevas Ideas, Nuevas Tecnologías
 - 2.2.1.2 Dos Mentes, Una Misma Visión del Futuro
 - 2.2.1.3 Los Alcances de la Nanotecnología
 - 2.2.1.4 Los Materiales Nanoestructurados
 - 2.2.1.5 El Arribo de los Nanosistemas
 - 2.2.1.6 Lo que la Arquitectura Puede Encontrar en la Nanotecnología

CAPÍTULO III	
Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos	59
3.1 Definición del Modelo bajo el Enfoque Prospectivo.	
3.2 Elección de la Técnica de Modelación.	
3.3 Construcción del Modelo.	
3.4 Determinación de sus características o parámetros.	
CAPÍTULO VI	
Aplicación del Método de Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos	66
4.1 Aplicación del Modelo a Escenarios Definidos.	
4.1.1 Diseño de la Muestra.	
4.1.1.1 Determinación de los Materiales a Evaluar.	
4.1.1.2 Presentación de Información Técnica Disponible.	
4.1.2 Análisis, Comparación y Verificación de la Muestra.	
4.1.2.1 Análisis Cualitativo Cuantitativo.	
4.1.2.2 Verificación con Modelos Matemáticos.	
4.1.2.3 Factor de Eficiencia de los Materiales.	
CONCLUSIONES	
Sobre la Evolución y Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos	71
BIBLIOGRAFÍA	74
GLOSARIO	79
APÉNDICES	
I. Cronograma y Fichas Analíticas de la Evolución Histórica de los Materiales y Sistemas Constructivos Comunes en la Arquitectura	82
II. Sobre la Necesidad de Analizar los Requisitos de los Edificios: La Fábrica	89
III. Síntesis Física de Vapor (PVS)	91
IV. Moldeo Superplástico en Malla (SNSF)	92
V. Instalaciones y Equipo de una Fábrica de Materiales Nanoestructurados	93
VI. Lista de Productos Nanoestructurados	94
VII. Propuesta para un Seminario de Área en la Maestría en Arquitectura, Campo de Conocimiento Tecnología	95

Introducción

a la Evolución y Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos

... “Llegará una época en la que una investigación diligente y prolongada sacará a la luz cosas que hoy están ocultas... Llegará una época en la que nuestros descendientes se asombrarán de que ignoráramos cosas que para ellos son tan claras... Nuestro universo sería una cosa muy limitada si no ofreciera en cada época algo que investigar”...

*Séneca, Cuestiones Naturales,
libro 7, siglo primero.*

... “Creo que lo extraordinario debe ser investigado, pero las afirmaciones extraordinarias requieren evidencia extraordinaria... No busco ni deseo creer, quiero saber”...

Carl Sagan, El Mundo y sus Demonios, 1997.

Esta introducción detalla el objetivo general y los objetivos particulares que la investigación persigue, destacando la importancia que ella tiene. Posteriormente se muestra la hipótesis planteada en la investigación a partir de un cuerpo de preguntas definidas por los fenómenos detectados en el objeto de la investigación. A continuación se describe la metodología de investigación aplicada desde el punto de vista general y particular, además de establecer el proceso de investigación realizado, la determinación de las limitaciones de la investigación, y de manera específica, el proceso de evaluación propuesto y aplicado en el trabajo.

El contenido de este documento está estructurado en cuatro capítulos claramente definidos. En el primer capítulo se establece la relación personal del autor con el

tema y los conceptos y definiciones que sustentan el desarrollo de este trabajo y que engloban lo que llamamos marco teórico. En el segundo capítulo, llamado Evolución de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos, se analizan los antecedentes históricos y críticos de éstos, además de plantear prospectivamente los posibles escenarios futuros de los materiales y sistemas constructivos del Siglo XXI. En el tercer capítulo se implementa e instrumenta el Método de Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos. En el cuarto y último capítulo se aplica y verifica este método de evaluación a un espacio muestral representativo de los materiales de construcción investigados en los antecedentes. A continuación se exponen las conclusiones de esta investigación, en congruencia con la génesis de la hipótesis planteada, y precisando la tesis sostenida por el autor.

Al documento lo acompañan siete apéndices; el primero incluye un cronograma y las fichas de análisis crítico de la evolución de los materiales y sistemas constructivos en la historia. El segundo apéndice presenta un análisis en forma de ensayo, escrito por el autor, sobre la importancia de la investigación de los requisitos de los edificios. En el tercero, cuarto, quinto y sexto apéndice se anexa información técnica sobre materiales nanoestructurados, sus procesos de síntesis, la fabricación de componentes constructivos con estos materiales y el aspecto interno y capacidad de una fábrica de materiales nanoestructurados. En el último apéndice, se propone un Seminario de Área para la Maestría en Arquitectura, Campo de Conocimiento Tecnología.

Esta tesis viene acompañada de un glosario y una bibliografía que se recomienda explorar. Además de ser la fuente bibliográfica de lo escrito, son lecturas recomendadas y obligadas.

El contenido de esta tesis acerca al lector a un área de conocimientos extraordinarios que plantean un reto al arquitecto y su gremio. Invito al lector a analizar el contenido, la tesis propuesta y la evidencia que pongo a su disposición.

I. Objetivos

Objetivo General del Trabajo de Investigación.

El Objetivo General del Trabajo de Investigación es generar un método que permita analizar, conocer, definir y evaluar objetivamente nuevos sistemas constructivos y nuevos materiales de construcción idóneos para la arquitectura del futuro.

Objetivos Particulares del Trabajo de Investigación.

El primer objetivo particular es definir las propiedades y valores que deben poseer los sistemas constructivos y los materiales de construcción para ser considerados idóneos en la edificación de obras arquitectónicas.

El segundo objetivo particular de éste trabajo es, mediante un análisis evolucionista de los antecedentes históricos, enriquecer y actualizar el acervo de conocimientos existentes sobre las nuevas tendencias y descubrimientos de los materiales utilizables en la edificación, para definir su importancia futura dentro de la industrialización de la construcción, tomando en cuenta nuestra realidad actual.

El tercer objetivo particular de éste trabajo es definir el método o procedimiento por el cual, el arquitecto podrá evaluar lógicamente y objetivamente los sistemas constructivos empleados en la arquitectura actualmente, así como los nuevos materiales descubiertos. En éste punto la informática, la investigación operativa, y la modelación

matemática tienen un papel relevante. El método definido podrá ser la herramienta en la toma de decisiones para alumnos, académicos, industriales de la construcción y profesionistas del ramo.

El cuarto objetivo particular es implementar los resultados obtenidos por ésta investigación dentro de los programas de estudio previstos en el área de construcción en la Facultad de Arquitectura, específicamente en un Seminario de la Maestría en Arquitectura Opción Tecnología, para generar en los estudiantes de posgrado, un interés y aproximación lógica en la selección y conocimiento de los futuros sistemas constructivos y los nuevos materiales que se usarán en la arquitectura del Siglo XXI, dándole importancia a la informática, las matemáticas, la investigación de materiales, el diseño de nuevos sistemas constructivos y la experimentación científica de éstos.

El orden que tienen los objetivos particulares anteriores refleja la secuencia de trabajo que se diseñó para ésta investigación. Son las metas específicas que se necesitan para alcanzar el objetivo general previamente mencionado.



Ilustración 1. Es uno de los objetivos de este trabajo, buscar que el arquitecto se adentre en la Investigación y Experimentación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos.

II. Importancia, Trascendencia, Validez o Significación del Trabajo de Investigación.

La importancia de este trabajo de investigación es obtener una herramienta metodológica que permita al arquitecto aclarar y hacer objetivo el proceso por el cual elige sus materiales y los sistemas constructivos. Este proceso debe ser consciente siempre, puesto que el arquitecto elige generalmente el material por su publicidad, su costo o su apariencia, más que por sus propiedades mínimas necesarias en cada partido arquitectónico.

El trabajo busca también generar una conciencia crítica de la importancia de las matemáticas y la construcción eficiente, racional e industrializada dentro del acervo de conocimientos del arquitecto. En las escuelas de arquitectura nacionales, existe una tendencia de olvidar, en la enseñanza de nuestra disciplina, que la arquitectura no existe sin su construcción.

Esta investigación busca exponer al arquitecto las nuevas tendencias tecnológicas en el diseño de nuevos materiales, para crear un interés natural y cuestionamiento real sobre la futura participación que tendrá el arquitecto en la construcción de nuestros espacios habitables del mañana.

De lograrse, los profesionistas beneficiados podrán ocupar un papel protagónico en el desarrollo de la arquitectura del próximo milenio, utilizando eficientemente los nuevos descubrimientos en la investigación de materiales para el desarrollo de nuevas concepciones espaciales arquitectónicas.

... "es indispensable que el arquitecto, asumiendo su legítimo carácter de coordinador de la industria de la construcción, sugiera al fabricante las especificaciones y características de los materiales que, en cada caso particular, se precisen para la más fiel interpretación de nuestras ideas"....¹

Si el objetivo general es alcanzado, no sólo se definirán las características fundamentales que deben tener los materiales y sistemas constructivos ideales en la arquitectura, sino que el arquitecto, de manera consciente, estará capacitado para especificar y exigir las propiedades deseadas en cada caso al fabricante, obteniendo un control total sobre el diseño de nuevos materiales y sistemas constructivos.

Como veremos más adelante, esto ya es posible gracias al desarrollo alcanzado por la tecnología actual.

III. Hipótesis.

En un principio, esta investigación surgió del planteamiento de diversas preguntas que me inquietaban: Si los materiales más comunes de la industria de la construcción se conocen y utilizan desde hace cientos o miles de años, si vivimos en una época de cambios, descubrimientos e inventos increíbles, si otras ramas del quehacer humano construyen y utilizan materiales distintos a los usados en la arquitectura, ¿Porqué seguimos construyendo con los materiales que usaron los egipcios, griegos y romanos? ¿Cuál es la razón por la que en casi dos mil años se mantuvieron vigentes dichos materiales y procedimientos? ¿Porqué algunos de los materiales usados actualmente hicieron su aparición solamente hace poco más de un siglo? ¿Existen materiales que se puedan usar en la construcción y no se han usado? ¿Qué nuevos materiales

están surgiendo y son candidatos a utilizarse en la industria de la construcción? ¿Quiénes los están descubriendo o inventando? ¿Cuáles de todos estos nuevos materiales tiene un futuro en la arquitectura? ¿Cuáles de ellos plantearán un nuevo reto a la imaginación y preparación de los arquitectos? ¿Cuántos requerirán el diseño de nuevos tipos de estructuras e instalaciones? ¿Cuáles modificarán nuestra concepción actual del espacio?.

¿Seremos capaces los arquitectos de detectar a tiempo las potencialidades de estos nuevos materiales y aplicarlos correctamente en nuevos sistemas constructivos? ¿Quiénes son los que deciden el uso de un material en la industria de la construcción? ¿Estamos siendo desplazados en este campo por alguna otra disciplina? ¿Existe algún procedimiento objetivo en la elección de nuevos materiales? ¿Qué criterios deben considerarse para la elección de éstos? ¿Porqué algunos dicen que un material es más eficiente que otros? ¿Realmente son unos materiales mejores que otros? ¿En función de qué son eficientes? ¿Bajo qué condiciones son mejores? ¿Existe algún método de calificación objetiva de la eficiencia de los materiales? ¿Somos los arquitectos capaces de evaluar nuevos materiales y sistemas constructivos de una forma objetiva y científica?.

¿Como arquitectos, tendremos la formación y el perfil para hacerlo o son otros los que están capacitados para hacerlo? ¿Si los arquitectos no lo hacemos, quiénes han tomado la responsabilidad? ¿Quiénes están construyendo con éstos nuevos materiales? ¿Quiénes construirán las ciudades del futuro? ¿Quiénes desarrollarán los espacios habitables en el fondo del mar, en la órbita terrestre, en la superficie lunar o en los desiertos marcianos?² ¿Los arquitectos cederemos a otros técnicos e ingenieros nuestro deber con el espacio arquitectónico? ¿Seremos capaces de traicionarnos a nosotros mismos como disciplina? ¿Seremos capaces de enterrar a la arquitectura, como otras tantas profesiones y oficios, en el olvido de la historia? ¿Qué podemos hacer para evitarlo? ¿Cómo podremos protagonizar estos cambios?.

La investigación buscó responder a estas preguntas. *El cuerpo de este trabajo trata de encontrar propuestas, objetivas y prácticas, que permitan solucionar o entender los problemas que éstas cuestiones plantean.*

Contestando inicialmente y tentativamente a las preguntas planteadas, bajo un razonamiento deductivo, podemos afirmar que todos los días tenemos noticias de nuevos materiales descubiertos por los científicos del mundo, que muchos de estos materiales han surgido de la necesidad de resolver diversos problemas constructivos que se plantean en disciplinas distintas a la arquitectura. Sabemos que estos nuevos materiales tienen cualidades increíbles si las comparamos con las propiedades conocidas de los materiales utilizados comúnmente en la industria de la

¹ Fernando Barbará Zetina, *Materiales y Procedimientos de Construcción*, p.12.

² Anne Hollister. *Our Next Home Mars: Bringing a dead world to life.*

construcción. Sabemos que han aparecido muchos materiales novedosos en este siglo, y que muy pocos de ellos han sido integrados a los sistemas constructivos utilizados en la arquitectura. Sabemos también que cuando fueron integrados a nuestro quehacer arquitectónico, ha sido de forma tardía y con desconfianza.

Pareciera que el arquitecto espera a que le digan que material puede ser usado en la construcción porque tiene ya muchos años de haber sido probado con éxito en otras ramas de la industria. Pareciera que el arquitecto no está interesado en buscar nuevas aplicaciones inmediatas a los nuevos materiales descubiertos. Pareciera que vivimos acostumbrados de cierto tipo de materiales y procedimientos, que por amor a ellos, y por desconocimiento de otros, hemos seguido utilizando por más de cinco mil años. Pareciera que deseamos seguir utilizándolos en el próximo milenio:

... "la confusión de ideas es un gasto antinatural de propósitos. Esa confusión significa una dispersión de metas que la naturaleza no toleraría nunca. La confusión se crea porque *en algunas mentes, hay duda o temor o esperanza*, de que la arquitectura esté trasladando su circunferencia. Así como la pala de cemento y algunos ladrillos ceden el paso al metal laminado, y a la trituradora; así como el obrero le da paso a la máquina automática, así el arquitecto parece estar dándole paso al ingeniero, al vendedor o al propagandista... Estoy aquí para asegurarles que la *circunferencia* de la arquitectura está cambiando con asombrosa rapidez, pero su *centro* permanece inamovible" ...³

Creo que el arquitecto actual está confundido y ha perdido su objetivo. Creo también que el arquitecto se aleja de estos descubrimientos e innovaciones por miedo al paso abrumador y gigantesco que la tecnología actual tiene. Estoy convencido de que es por temor a lo desconocido, que el arquitecto elude su compromiso con la técnica, refugiándose en la posición falsa del "artista". Pienso que cuando se le muestra el camino de la verdad a un niño temeroso, cuando éste comprende finalmente la realidad, el valor se hace presente. Creo que lo que necesita el arquitecto es tener una herramienta que le permita entender su cruda pero promisoría realidad, que le deje manejar estos descubrimientos, que le permita encausar dentro de nuestra disciplina estos nuevos conocimientos. Creo que debemos rápidamente recuperar el camino. Creo que el arquitecto actual debe informarse profundamente de estos descubrimientos, y adentrarse objetivamente en la investigación y la elección de nuevos materiales utilizables en los sistemas constructivos. Suponiendo que así sucediera, se que la arquitectura cambiaría radicalmente en su forma y su función. Estoy seguro de que encontraríamos los fundamentos para nuevas concepciones constructivas y espaciales. Sé que,

³ Frank Lloyd Wright, 1953, *El Futuro de la Arquitectura*, pp. 170 - 171.

en la medida en que el arquitecto se comprometa con este trabajo, nuestra profesión será protagonista de nuevos cambios, nuevas construcciones, y nuevas ciudades. Creo que evitaríamos el olvido.

Por lo anterior, y como en todo trabajo científico, creo necesario plantear un supuesto o hipótesis inicial que se debe revisar y comprobar mediante procedimientos experimentales.

La **Hipótesis** que fue planteada para la *presente investigación tecnológica*, está sintetizada en el siguiente enunciado:

Los nuevos materiales y sistemas constructivos utilizables en la edificación de sistemas arquitectónicos pueden ser determinados y elegidos objetivamente, durante el proceso de gestación⁴ del proyecto arquitectónico. El análisis puede ser objetivo si el arquitecto usa como herramienta un método adecuado de evaluación que recupere⁵ como valores de verdad los objetivos fundamentales que el procedimiento o material debe cumplir como mínimo para ser considerado como adecuado para la Industria de la Construcción⁶.

Esta suposición es una hipótesis de tipo general, la cual intenta enfocar al problema como base para la búsqueda de datos. Responde de forma amplia y genérica a las cuestiones expuestas y será sometida a un profundo análisis y verificación durante el proceso de investigación, para determinar su aprobación o desaprobación. Al manejarse a la Hipótesis como un enunciado, gramaticalmente hablando, se le puede señalar el sujeto y el predicado. Dentro del predicado se encuentran una serie de calificativos o atributos que le dan un conjunto de cualidades y calidades que se han afirmado sobre el mismo. Hablando en el lenguaje estrictamente científico, el sujeto de la hipótesis es la variable independiente, mientras que todos los atributos enunciados son las variables dependientes. Si analizamos el enunciado de la Hipótesis de esta investigación, el sujeto está representado por los Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos, nuestra variable independiente (aquella que no podemos cambiar), mientras que el Método de Evaluación (nuestro objetivo general del presente trabajo) es nuestra variable dependiente, puesto que su forma o

⁴ Como se verá más adelante, el diseño de sistemas constructivos y la determinación de los materiales que lo integran tiene lugar durante el proceso de diseño de un edificio.

⁵ Retomar sería la palabra más adecuada en lugar de Recuperar., sin embargo, el verbo retomar no está incluido oficialmente en la lengua española, por lo que Recuperar fue utilizado para evitar la confusión del sentido real de la hipótesis. La intención original de utilizar retomar está fundamentada en el hecho de que se ha perdido el rumbo conocido y hay que volverlo a tomar.

⁶ Se conoce como Industria de la Construcción a la actividad económica que desarrolla un país para obtener bienes inmuebles e infraestructura necesarios para su población. En ella se agrupan arquitectos, ingenieros, técnicos, diseñadores, mano de obra especializada, empresarios, fabricantes, comerciantes y consumidores. Esta actividad está catalogada como un renglón importante (una variable) de cálculo dentro del Producto Interno Bruto (PIB), y su comportamiento generalmente refleja el nivel de auge económico que tiene el país.

estructura está subordinada fundamentalmente a los objetivos y características básicas que poseen y deben cumplir todos los nuevos materiales y sistemas constructivos.

Epistemológicamente hablando, en el cuerpo de la hipótesis presentada, la variable independiente es nuestro objeto de estudio, mientras que las variables dependientes, sus características evaluables, son atributos del mismo objeto. De acuerdo con la Teoría del Conocimiento, es el sujeto quien determina la relación con el objeto. *Por ello es importante que el investigador defina su relación con el objeto de la investigación.*

Siendo los Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos nuestro objeto de estudio, es particularmente importante definir la relación personal que existe entre un servidor y el tema tratado, además de exponer mi concepción y una postura de y ante los fenómenos que se observan y analizan en el objeto de este estudio.

IV. Metodología General de Investigación Aplicada en este Trabajo.

La Evolución y Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos es una investigación predominantemente descriptiva⁷, de índole tecnológica.

Por lo anterior, el trabajo de investigación desarrollado, puede clasificarse como un conjunto de etapas metodológicas. En donde estas etapas del proceso fueron manejadas bajo el enfoque predominante de dos Métodos de Investigación troncales conocidos: El Método Prospectivo⁸, y el Método Científico.

⁷ La Investigación Descriptiva busca analizar los fenómenos actuales, revisando los hechos y sus realidades, tratando de presentar una interpretación correcta. Se aplica generalmente a hechos donde el investigador no tiene control ni acceso a la experimentación directa, donde no se pueden manipular las variables.

⁸ El pensamiento prospectivo tiene su origen en el impacto producido por el artículo llamado "Ciencias humanas y anticipación" escrito por el francés Gastón Berger, publicado en 1957 en la revista "Revue des Deux Mondes". El autor crea posteriormente un instituto de investigaciones prospectivas llamado "Centre d'Etudes Prospectives" cuya iniciativa fue copiada en todo el mundo. A Gastón Berger se le debe el término de Prospectiva. Simultáneamente a Berger, el francés Bertrand de Jouvenel inicia la corriente llamada reflexión prospectiva, publicando artículos en su propia revista llamada "Analyse et Prevision-Futuribles", generando una amplia investigación sobre el porvenir en la que se determina que existen dos maneras de comprender el futuro:

1. Como una realidad única. Así lo ven aquellos que creen en el destino como un algo inmutable e inevitable.
2. Como una realidad múltiple. Así lo ven aquellos que creen que el futuro lleno de probabilidades moldeables por diversos factores y la decisión del hombre.

A la prospectiva se le conoce como futurología en los países anglosajones, pero ha caído en tendencias poco objetivas y serias, como en lo escrito por Alvin Toffler o E. Junk. El investigador ruso Igor Bestoujev-Lada propuso que la prospectiva sea llamada la Ciencia del Pronóstico, creando críticas y adeptos entre los estudiosos del tema. La prospectiva utiliza métodos y técnicas de análisis que se utilizan fundamentalmente en la planeación de actividades humanas para lograr determinados objetivos específicos ideales.

El Enfoque Prospectivo.

Un método prospectivo es un método de planeación estratégica donde se concibe al futuro deseable y se diseñan los medios para llegar a él. La planeación estratégica es el ordenamiento de la acción del hombre mediante actividades tácticas previamente evaluadas. Los métodos prospectivos no buscan adivinar el futuro sino que pretenden construirlo.

El objetivo principal de la prospectiva es construir Modelos de sociedad futura mediante la anticipación de nuevas configuraciones, elaboradas y discutidas por todos, que satisfagan tanto las aspiraciones que motivan a los hombres como las exigencias técnicas imprescindibles para esos logros.

El Modelo Prospectivo es un programa que satisface nuestras aspiraciones, que se depura y consolida para alcanzar nuestros ideales. *Un modelo prospectivo no es un pronóstico*, es simplemente una herramienta metodológica que permite obtener lo que queremos. *Un modelo prospectivo permite perfilar los fines, delinearlos y explicarlos lo mejor posible, para luego reflexionarlos comparándolos con la historia conocida para programar acciones a realizar.*

Un modelo prospectivo también es conocido como un modelo de simulación. Un modelo es la representación de la realidad que permite comprenderla y estudiarla. No es la realidad misma, pero la simplifican para nuestro entendimiento. Por esta razón es importante construir modelos. Para crear un modelo prospectivo se deben seguir los siguientes pasos:

Existen dos tendencias o escuelas de pensamiento que permiten una aproximación al futuro: La preferencia o prognosis, y la prospectiva.

La preferencia agrupa a todos los métodos y técnicas que permiten visualizar el futuro bajo el análisis de la experiencia. La preferencia utiliza los conocimientos del pasado para construir el futuro, generando proyecciones y extrapolaciones de fenómenos acontecidos en el pasado hacia adelante en el tiempo, más allá del presente. Éstos métodos se basan en tendencias deducidas de una visión retrospectiva del tema analizado, y permiten generalmente la previsión de un único futuro probable.

Por otro lado, la prospectiva reúne a aquellos métodos y técnicas que permiten visualizar el futuro como una realidad diseñable, y parte de definir previamente múltiples y diferentes escenarios futuros deseables, a partir de los cuales se reflexiona e instrumenta. A diferencia de los métodos retrospectivos, que se desarrollan a partir del pasado, la prospectiva viene del futuro hacia el presente. Por lo anterior, se dice que la prospectiva es un método ascendente, mientras que los métodos retrospectivos son descendentes.

Partiendo de que el futuro es una realidad múltiple, la prospectiva principalmente es una actitud mental, seguida por un proceso metodológico que intenta hacer más probable el futuro deseable. La prospectiva parte de la idea de que el futuro no está escrito y que en él podemos imaginar ilimitadas configuraciones probables llamadas futuribles o futuros probables. Para aumentar las probabilidades de los futuribles, la prospectiva utiliza técnicas refinadas de aproximación y planeación. Si el futurible no es alcanzable con las herramientas disponibles, la prospectiva inventa el medio para cumplir con su fin. El método prospectivo utiliza las más avanzadas técnicas de desarrollo, y es el motor de nuevas tecnologías y recursos, si son necesarios.

1. Definir los objetivos del modelo, los resultados que se quieren obtener.
2. Integrar y definir los posibles escenarios.
3. Delimitar el objeto focal y significativo del problema.
4. Especificar la estructura aproximada del sistema de estudio.
5. Analizar la estructura, las variables y las reacciones.
6. Elegir las técnicas de modelación que se usarán.
7. Construir el modelo.
8. Determinar sus coeficientes.
9. Hacer pruebas de coherencia, consistencia, sensibilidad y precisión.
10. Aplicar en el sistema de estudio los escenarios definidos.
11. Evaluar los resultados.

Para que un modelo prospectivo sea pertinente es necesario que en su determinación participen tanto los usuarios del modelo, como los expertos conocedores del tema.

El Enfoque Científico.

Aunque la ciencia tiene un amplio antecedente y nacimiento en la antigua Grecia con Hipatia y la Biblioteca de Alejandría, o los filósofos griegos Arquímedes, Eratóstenes, Hiparco, Euclides o Platón, el método científico no apareció hasta mucho después. *Es de todos conocido que en la Biblioteca de Alejandría es el lugar donde el hombre reunió, por primera vez en la historia, de modo sistemático y serio, el conocimiento del mundo.*

En la Ciencia Moderna⁹, lo absoluto no existe, existiendo un indeterminismo que depende de las leyes que gobiernan los procesos naturales, convirtiéndose en fenómenos relativos y probables. La *Ciencia Moderna* acepta que la realidad no es directamente accesible, y que al observarla, la modificamos forzosa y necesariamente. La *Ciencia Moderna* se acerca, en lo posible, a la realidad construyendo básicamente Modelos Científicos que se ajustan y describen a las observaciones obtenidas. La *Ciencia moderna* se apoya en teorías y leyes que le permiten explicar estos fenómenos, y se apoya en las matemáticas y la experimentación para darles veracidad.

El Método Científico es una metodología universal empleada por todos los investigadores y científicos del planeta. El *Método Científico* requiere de la observación, la experimentación, las matemáticas, los postulados, los axiomas, las explicaciones, las hipótesis, las teorías, y las

⁹ La Ciencia, según Huxley, es sentido común organizado, pero la realidad es que la Ciencia estudia los fenómenos existentes de la naturaleza y las relaciones que existen entre ellos. El objetivo de la Ciencia es formular preguntas a la Naturaleza, buscando encontrar respuestas. La ciencia funciona seleccionando un fenómeno o una serie de fenómenos, de los cuales genera una abstracción elemental, estableciendo relaciones entre objetos y fenómenos, buscando una descripción y sistematización de los hechos, midiéndolos y explicándolos, para obtener postulados que permitan posteriormente la predicción de fenómenos similares o análogos, para acercarnos paulatinamente a la comprensión y el conocimiento de nuestro Universo. La ciencia se apoya en el Método Científico para lograr estos objetivos.

leyes para permitir a la ciencia una descripción y un conocimiento objetivo de la naturaleza.

El objetivo principal del Método Científico es facilitar la elaboración de una Investigación Científica. Las labores de un científico incluyen un proceso de trabajo que debe sistematizarse para obtener resultados. El Método Científico proporciona las herramientas básicas para el análisis de fenómenos de la naturaleza. El Método Científico permite el razonamiento, la codificación, la medición, la generación de reglas y la creación de Modelos Científicos¹⁰ que expliquen los problemas existentes de nuestro Cosmos.

La construcción de Modelos de los fenómenos naturales es uno de los objetivos esenciales del trabajo científico. Toda ciencia es fundamentalmente la elaboración de un Modelo de la Naturaleza. Una de las intenciones de la ciencia es obtener el conocimiento y control de alguna parte del Universo, pero ningún objeto o fenómeno de este conjunto es tan sencillo que pueda ser considerado o explicado en su totalidad. Todo evento natural es demasiado complejo, por ello se utilizan modelos para abstraernos y englobarnos en una generalidad.

V. Metodología Particular de Investigación Aplicada en este Trabajo

El Enfoque Particular del Trabajo.

En general, toda la investigación realizada y presentada en este documento es de tipo bibliográfica o documental.

En la Primera Etapa del trabajo, bajo el enfoque científico, se intenta realizar una investigación de tipo descriptiva generando un marco teórico, donde los conceptos básicos y definiciones son dadas, en el que:

¹⁰ El científico no estudia directamente a la naturaleza, si no al modelo que genera de ella. Los modelos son ejemplos análogos de los fenómenos estudiados pero con estructuras más sencillas. Por esta causa, los hechos científicos son modelos aproximados de los hechos reales. Existen dos tipos de Modelos Científicos y estos son:

1. Los Modelos Materiales.
2. Los Modelos Formales.

Un Modelo Material es una representación de un sistema real por otro distinto que supone algunas propiedades semejantes a las que se desean estudiar en el sistema original. Generalmente son modelos a escala o análogos, o simuladores, contruidos físicamente para su observación experimental. Un Modelo Formal es la expresión simbólica, en términos lógicos, de una estructura idealizada que se supone análoga a la de un sistema real. Estos modelos son llamados Leyes o Teorías, las cuales exhiben las relaciones entre las distintas variables que influyen en un fenómeno determinado. Para construir un Modelo Material, es necesario construir previamente un Modelo Formal. Un Modelo Material siempre será un modelo parcial, siendo similar en algunos aspectos al original, pero necesariamente distinto en muchos otros. El Modelo Formal ideal sería aquel que explicara la totalidad del cosmos. Dado que el Cosmos es demasiado complejo, y la comprensión humana limitada, los Modelos Formales o Teóricos son de orden muy general y limitada.

1. Se determine las características físicas y técnicas de los materiales para elegir posteriormente una muestra a evaluar, fundamentalmente a partir de información obtenida directamente de los investigadores que los están desarrollando, en visitas directas a laboratorios y por correo electrónico.
2. Se defina un Modelo Formal basado en la determinación de las características mencionadas. El modelo sirve para implementar la Evaluación.
3. En lo posible, se verifique alguna de las propiedades o valores que se están evaluando con equipo de laboratorio o modelos matemáticos.

En la Segunda Etapa del trabajo, bajo un enfoque fundamentalmente prospectivo, en los llamados antecedentes del proyecto, se trabaja con una investigación de tipo histórica con tintes descriptivos. Su estructura implica el siguiente proceso:

1. Búsqueda de antecedentes históricos de los materiales y sistemas constructivos, en libros, revistas y documentos fundamentalmente.
2. Búsqueda de antecedentes de nuevos materiales y nuevas tendencias en la investigación de materiales, en Internet predominantemente.
3. Búsqueda de antecedentes de los métodos de evaluación de materiales y sistemas constructivos en la historia, tanto en libros como en Internet.
4. Descripción Prospectiva de los antecedentes encontrados.

En la Tercera Etapa, tratando de conciliar la Modelación Prospectiva y Científica, se intenta manejar una investigación de tipo experimental con las limitaciones que presentan los modelos formales de tipo matemático. La información obtenida permitirá diseñar una muestra de materiales actuales que pueda ser verificada por el proceso de evaluación que se propone, en donde:

1. La muestra elegida es evaluada con el procedimiento de selección y análisis propuesto, mediante su comparación con el modelo formal definido.
2. Se compruebe la veracidad de los datos obtenidos mediante modelos matemáticos y simuladores.

Es importante destacar que la estructura mencionada refleja la organización clásica de un *ensayo de investigación científica universitaria* del tipo llamado de alta y media divulgación.¹¹

El Proceso de Evaluación Aplicado en el Trabajo.

El proceso de evaluación propuesto está asentado en la base de que *las soluciones planteadas en la construcción son producto de un proceso de diseño*. El trabajo evaluará materiales constructivos implicados en un proceso de diseño arquitectónico constructivo.

¹¹Felipe Párdinas, Tres diferentes tipos de conocimientos, conocimientos populares, de divulgación y científicos, *Metodología de Investigación en Ciencias Sociales*, pp 22-29.

Un proceso de diseño puede ser evaluado con diversas metodologías existentes. El objetivo de todas las metodologías de evaluación de procesos de diseño está orientado a decidir los medios por los cuales *se pueda reconocer o determinar que diseño es el más aceptable*. La intención es conocer qué materiales son más adecuados para la construcción del futuro, por lo que inicialmente, el esquema que debe seguir este método de evaluación de materiales es el siguiente¹²:

1. Definir un objetivo que ha de ser satisfecho por cualquier material aceptable.
2. Identificar la dirección de seguridad y certidumbre que el objetivo busca.
3. Examinar la evidencia disponible de los efectos debido a desviaciones del objetivo, e identificar una condición que corresponda al margen de seguridad de la zona comprendida entre materiales aceptables e inaceptables.
4. Especificar como criterio, la medición más sencilla que indique claramente si el material está en el margen de seguridad de este límite.

Cuando la evaluación engloba varios materiales constructivos al mismo tiempo, se deben definir los puntos anteriores por cada material analizado.

Debemos recordar que el segundo objetivo particular de este trabajo es *enriquecer y actualizar el acervo de conocimientos existentes sobre las nuevas tendencias y descubrimientos de los materiales utilizables en la edificación*, para definir su importancia dentro de la arquitectura actual y futura, mediante la investigación, crítica y aportación personales. La crítica consciente implica una ponderación o evaluación de lo criticado.

La definición de los objetivos de un material dado es necesaria, ya que sólo se puede evaluar una solución confrontando los objetivos por el diseñador planteados contra los resultados palpables de su aplicación real.

Conociendo los objetivos de cada material constructivo se pueden definir e identificar los grados de seguridad y certidumbre que deben cumplir. Es decir, si el material analizado es aceptable o no lo es, qué tanto es aceptable o inaceptable, y cuál podría ser el grado óptimo que debe alcanzar para que el material sea plenamente aceptable.

Esta identificación puede ser lograda mediante una consideración y calificación cuantitativa de las cualidades que deben tener todos los materiales constructivos evaluados.

La escala de valores puede ser definida en función de las características físicas que los materiales deben cumplir para considerarse aceptables. Para examinar los materiales constructivos idóneos, es necesario evaluar los antecedentes históricos y bibliográficos disponibles, para

¹²Christopher Jones, Métodos de evaluación (Convergencia), Criterios de selección, *Métodos de Diseño*, pp. 340-341.

luego medirlos en función de una escala de valores previamente definida.

La estructura de este documento de investigación refleja en su organización el método de evaluación previamente mencionado.

VI. Limitaciones de la Investigación.

Existe una limitante al proceso de verificación de un material constructivo determinado, y esta es que la mejor ponderación puede ser lograda experimentando con el

material mismo aplicado en una solución constructiva, midiendo sus grados de respuesta al contexto general.

Por lo anterior, la experimentación y evaluación directa del Modelo Material, en campo o laboratorio, es necesaria.

Esta es una limitante de la presente investigación puesto que sólo se analiza el Modelo Formal definido mediante información bibliográfica y la investigación operativa, y no se tiene físicamente ejemplares de los materiales con los que se pueda experimentar.

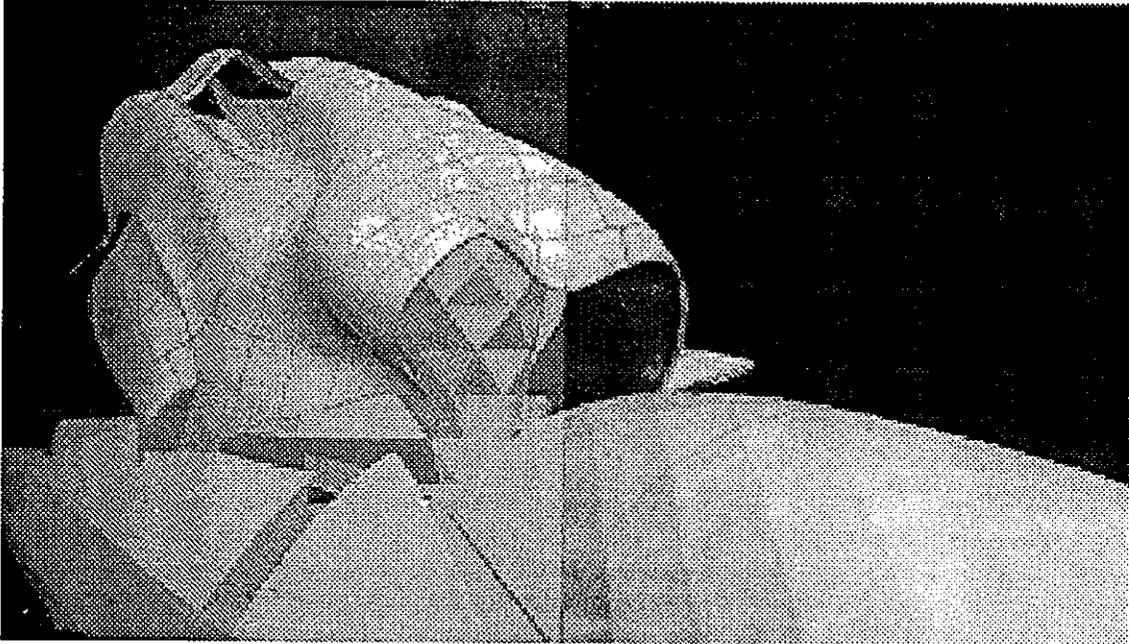


Ilustración 2. ¿Cuál será el escenario futuro en el que los edificios que construimos se diseñarán, tomando en cuenta la Evolución de los Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos que estarán presentes a partir del comienzo del Siglo XXI? El enfoque prospectivo de este trabajo trata de acercarnos a esos posibles escenarios.

Capítulo I

Marco Teórico

... “No podrá haber espacios sin materiales de edificación, ni arquitectura sin espacios delimitantes de los habitables... La constante evolución que registra la industria actual de los diversos materiales y equipos, exige una continua renovación... El dominio de las técnicas edificatorias actuales y la educación de su talento creativo, se constituyen en el ineludible instrumento que maneja el profesional”...

José Villagrán García, noviembre de 1976.

En este primer capítulo se intenta establecer la relación personal del autor frente al tema de estudio desarrollado en este trabajo. A continuación se hace énfasis en la visión o enfoque que el lector y los interesados en el tema deben tener para entender la evolución de la arquitectura y visualizar soluciones prospectivamente. Siendo el presente capítulo un Marco Teórico, se establecen definiciones fundamentales que permiten entender qué es un edificio, qué es un sistema constructivo y qué es un material de construcción. Sobre el mismo orden de ideas, se establecen también definiciones sobre cuáles son los patrones de diseño que todo diseñador de sistemas constructivos debe contemplar, así como se determinan las propiedades básicas que deben evaluarse en un material de construcción. Dado que la investigación estudia la Evolución y Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas constructivos, se determinan también las características de los Métodos de Evaluación, y se busca aclarar lo que significa un análisis crítico de la historia de la arquitectura bajo el enfoque evolucionista.

1.1 Relación Personal con el Tema.

Puedo destacar que las razones que me impulsaron a estudiar la Maestría de Arquitectura Opción Tecnología, y en particular el tema de esta investigación, se pueden analizar desde tres esferas de pensamiento: la académica, la profesional y la personal.

En lo académico, he complementado siempre la preparación profesional obtenida en la U.N.A.M. con estudios extra escolares. Siendo estudiante y posteriormente profesor en la U.N.A.M., comprendí que nuestra institución persigue por encima de todo la universalidad de pensamiento. Esto se logra con la formación universitaria y la preparación profesional. La formación universitaria es la formación de conciencia, mientras que la preparación profesional es la instrucción en un área específica del quehacer humano. **El quehacer humano varía con el tiempo, pero no la formación de conciencia.**

Como universitario siento la necesidad de seguir sirviendo bajo los preceptos del amplio criterio: el lograr aceptar la verdad por encima de los intereses personales; el manejar amplios causes de información y de corrientes, así como poder discernir la mejor alternativa al aportar, enriquecer y crear. Creo que ha llegado el momento de formalizar, ampliar y engrandecer los conocimientos extra escolares y la experiencia por mí adquiridos, y compartirlos de alguna manera con la comunidad.

En lo profesional, los más de trece años de ejercicio me han permitido incursionar, siempre desde la empresa privada, en los distintos campos de desarrollo de nuestra profesión. En la práctica, el gremio parece dividir de una forma inadecuada el proyecto de la construcción, como si se tratase a veces de disciplinas opuestas e irreconciliables. Afuera se olvida lo que la arquitectura es, sirve y vale. El

cómo la unión de la técnica y el arte es fundamento indisoluble de la arquitectura.

Como profesional libre y empresario de la construcción, he afirmado mi concepción del arquitecto como servidor de una sociedad, donde presta su conocimiento y su experiencia como herramientas primordiales para la resolución de sus necesidades. El arquitecto debe servir y no ser servido, ésta es la diferencia básica. Pienso que la correcta administración, organización y conducta del arquitecto como empresa, **manejando el conocimiento técnico actualizado, la investigación de alternativas y la aplicación tecnológica, permiten ofrecer calidad**. Observando el futuro, creo necesario e indispensable mejorar mi conocimiento y experiencia en este campo para que, con mejores herramientas, pueda ofrecer un mejor servicio profesional.

En lo personal, la masificación educativa, el impresionante y constante desarrollo tecnológico, y la crisis del sector constructivo me permiten observar un futuro lleno de áspera competencia. Si bien las necesidades de habitabilidad del país han estado siempre rezagadas, la profusión de arquitectos disminuye el campo de operación de cualquier profesional en los años por venir.

Los planes de estudio de las instituciones que imparten arquitectura han cambiado en los últimos años para introducir como materias obligatorias nuevas tecnologías y la informática. A través de la capacitación y asesoría dada a particulares y empresas, he tenido la suerte de introducirme personalmente en estos conocimientos de manera extra escolar, lo cual me permite estar vigente como profesional. Sin embargo creo necesario afinar y actualizar de una manera formal esta experiencia y sistematizar mis conocimientos en la materia. Ante la **feroz competitividad se requiere más calidad en los conocimientos y excelencia en el modo de obtenerlos. Encuentro en la investigación y la autocrítica las herramientas indispensables para ello.**

Definir un **Método de Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos** reunirá mi experiencia personal con mi experiencia académica y profesional en un proceso de elección objetivo, racional, eficiente y sistemático, el cual permitirá **manejar el conocimiento técnico actual en el campo de la construcción, la investigación de nuevas alternativas de materiales y sistemas constructivos, y la aplicación tecnológica, para ofrecer calidad** al gremio de constructores, que como un servidor, necesitan herramientas confiables, veraces y significativas para poder competir.

1.2 Cronología del Problema de Estudio.

1.2.1 Dos Visiones, Dos Futuros.

“Vivimos en una época extraordinaria”, menciona Carl Sagan en su libro *El cerebro de Broca*, “Son tiempos de

cambios pasmosos en la organización social, el bienestar económico, los preceptos morales y éticos, las perspectivas filosóficas y religiosas y el conocimiento que tiene el hombre de sí mismo, así como en nuestra comprensión de este inmenso universo que nos acoge como grano de arena dentro de un océano cósmico”, y agrega: “Dentro de los 4,000 millones de años de historia de la vida sobre nuestro planeta, dentro de los 4 millones de historia de la familia humana, hay una sola generación privilegiada que podrá vivir este momento único de transición: la nuestra”. Éste es el pensamiento que compartimos aquellos que vemos el futuro con esperanza, lleno de promesas y maravillas, listas para ser descubiertas, dispuestas para ser aplicadas y admiradas.

De acuerdo a lo anterior, se puede decir que actualmente predominan dos formas de concebir el mundo que nos rodea: el apocalíptico y el paradisiaco¹³. El primero, es visto por pesimistas que encuentran en nuestra sociedad todo signo de destrucción, estancamiento y retroceso¹⁴. El segundo, es observado por optimistas generalmente relacionados con la ciencia y la tecnología¹⁵. Los pesimistas, generalmente ven catástrofes ecológicas, sociales y económicas que determinan el fin próximo de la especie humana. Los otros, ven en el progreso científico y tecnológico la llave del desarrollo y bienestar a futuro de la humanidad.

La arquitectura no es ajena a estos enfoques, y nos encontramos así con un momento histórico y sumamente crítico, que a su vez está lleno de intrincados caminos y profundas transformaciones que los arquitectos debemos comprender y asimilar. Éste no es el único momento similar en la historia de la arquitectura. Tampoco es el único que ha planteado retos trascendentes a los arquitectos. Han existido momentos importantes en los que los descubrimientos y los cambios sociales y económicos han determinado la aparición de estilos y nuevas tendencias arquitectónicas.

La historia de la civilización está llena de ejemplos donde las culturas y pueblos han desarrollado la ciencia y el arte de la arquitectura utilizando nuevos materiales, procedimientos constructivos y estructuras para crear diferentes tipos de espacios acordes a sus necesidades espirituales, políticas, económicas y sociales. En todo momento, la aportación, la originalidad y la innovación requirieron diversas tecnologías constructivas resultando en estructuras y espacios característicos. *Con cada descubrimiento un nuevo reto. Con cada solución un nuevo conocimiento.*

¹³El Dr. José A. Lanuza los define como el ocaso y la aurora, *Operación Supervivencia*, p. 163.

¹⁴Bajo el Enfoque Prospectivo, esta postura se conoce como la comprensión del futuro como una realidad única, ver la Introducción.

¹⁵Prospectivamente hablando, es la comprensión del futuro como una realidad múltiple, *Ibid.*

El desarrollo actual de la ciencia y la tecnología permiten vislumbrar un cambio próximo en la arquitectura mundial. Basta con observar la evolución en los últimos años de nuestras sociedades a partir de los nuevos descubrimientos e inventos. El cambio vertiginoso de patrones en el comportamiento humano en los últimos cien años lo demuestra. El futuro de la arquitectura se debe analizar bajo el enfoque de estos cambios. El arquitecto debe estar consciente y prepararse para éste, sin importar que tanto se rompa con cánones ya establecidos o con tradiciones ancestrales de tipo gremial. Debemos considerar cada idea, cada camino, cada descubrimiento y cada invento actual para definir y conocer la arquitectura del futuro.

Esta investigación fue realizada bajo el enfoque de la visión positiva, prospectiva, crítica y objetiva que permiten percibir los nuevos y evidentes cambios en la tecnología mundial, en especial lo que ahora se conoce como Investigación de Materiales y sus asombrosos descubrimientos.

Pretendo demostrar bajo este espíritu, la importancia y trascendencia que estos nuevos materiales tendrán en el futuro de la edificación.

1.3 Definición de Material de Construcción y Sistema Constructivo.

1.3.1 Definición de Edificio y Sistema Constructivo.

Dado que la materia que nos ocupa es la construcción, debemos esbozar una primera definición para poder profundizar en el tema de la Evolución y Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos.

Sabemos como arquitectos, que la construcción o edificación es un proceso de producción efectuado en un edificio determinado. Pero, ¿qué es un *edificio*? y sobre todo ¿qué es un *proceso constructivo*?

Un Edificio es un espacio arquitectónico construido, diseñado para cumplir con las condiciones y requerimientos de habitabilidad de sus ocupantes en un lugar y tiempo determinado. Dada la complejidad de un proyecto arquitectónico, para ser diseñado y construido un edificio, se debe organizar y clasificar sus componentes desde el enfoque de un sistema. Los sistemas facilitan el análisis y la resolución de problemas

En su definición más sencilla, un sistema es un conjunto de principios verdaderos o falsos reunidos entre sí, de modo que formen un cuerpo integral y homogéneo. Un sistema es también una combinación de partes reunidas para obtener como resultado un conjunto. Los sistemas son modos de organizar y clasificar información y objetos desde una visión integral.

Un Sistema Edificio¹⁶ puede concebirse como un conjunto de elementos (subsistemas, componentes, y subcomponentes), que interactúan empleando recursos limitados, para cumplir objetivos definidos, a un nivel de eficiencia admisible, durante periodos de tiempo específicos.

De acuerdo con la definición tradicional¹⁷, bajo el enfoque de sistemas, el edificio esta constituido por subsistemas tales como la estructura, la albañilería y acabados, las instalaciones, los complementos, y su operación, administración y control. Cada uno de éstos subsistemas contiene una serie de componentes y subcomponentes. Por ejemplo, en la estructura existen los trabajos preliminares, la cimentación y la superestructura, mientras que en la albañilería y acabados existen los muros, los plafones, los pisos, las cubiertas exteriores y los detalles complementarios. El componente superestructura tiene a su vez como subcomponentes los soportes, los entresijos, y las vigas. Lo importante es que el sistema edificio se puede analizar y desglosar al grado de detalle que el diseñador requiera para comprender sus funciones y alcanzar el objetivo del diseño.

Para lograr la materialización de un sistema edificio, el arquitecto se vale de procesos de producción que llamamos procedimientos constructivos. Los procesos constructivos varían con el paso del tiempo, puesto que dependen de los materiales utilizados, y la concepción y formación del diseñador en una época y lugar determinados. Los procedimientos constructivos racionalizados intentan simplificar la complejidad de construir edificios en gran número, a corto plazo y a bajo costo. Todos los días se desarrollan nuevos procedimientos constructivos para construir sistemas edificio. Los *Procedimientos Constructivos Tradicionales y Prefabricados* son un ejemplo de éstos procesos.

En la Teoría General de Sistemas, el sistema a analizar puede ser determinado por el investigador de acuerdo a sus objetivos de investigación. *Bajo diferentes enfoques, un sistema edificio reúne en su seno diversos y distintos tipos de subsistemas, componentes, subcomponentes y elementos con los cuales puede ser descrito ampliamente. Todo sistema definido es relativo a su enfoque.*

Para el objetivo de esta investigación, si enfocamos un Sistema Edificio como un Espacio Arquitectónico podremos, a la luz de la Teoría de la Arquitectura de José Villagrán, determinar su estructura sistémica a partir de la definición de que un Espacio Arquitectónico posee dos tipos de espacios: el Habitable y el Construido.

¹⁶Dr. Álvaro Sánchez, *Sistemas Arquitectónicos y Urbanos*, pp. 563-574, Introducción a la teoría de los sistemas y su aplicación a los métodos de diseño y operación de sistemas urbanos arquitectónicos y constructivos (de edificios).
¹⁷ *Ibid.*

De acuerdo a la definición anterior, el Sistema Edificio se puede dividir en los Subsistemas Habitable y Edificado. Uno es el espacio en el que nos movemos y convivimos, el otro es el espacio físico que ocupan los materiales constructivos transformados.

Para los fines que perseguimos, este nuevo enfoque es más adecuado que el tradicional.

Si analizamos el Subsistema Habitable, el también llamado espacio delimitado, encontraremos que posee dos tipos de componentes: El Funcional y el Jerárquico. El Componente Funcional permite percibir a los espacios de acuerdo a la función que desempeñan dentro del Sistema Edificio. Existen espacios Fisionómicos, espacios Distributivos, y espacios Auxiliares. Los Subcomponentes Fisionómicos permiten identificar al espacio conformador (espacios útiles) del Sistema Edificio. Mientras tanto, los Subcomponentes Distributivos permiten visualizar al espacio estructurador de la composición, al mismo tiempo de lo que se conoce como circulaciones verticales y horizontales. Por último, el Subcomponente Auxiliar permite identificar a los espacios de apoyo o auxiliares, como lo son todo tipo de servicios, cuartos de máquinas, etc.

Sistema Edificio. (Espacio Arquitectónico).	Subsistema Habitable. (Espacio Delimitado).	Componente Funcional. (Tipos de Espacio).	Subcomponente Fisionómico. (Función Formal y Conformadora). Subcomponente Distributivo. (Función Organizacional y Distributiva). Subcomponente Auxiliar. (Función Auxiliar o de Apoyo).
	Subsistema Edificado. (Espacio Delimitante).	Componente Jerárquico. (Partes del Espacio).	Subcomponente Característico. (Parte Principal). Subcomponente Complementario (Parte Secundaria). Subcomponente General. (Parte General).
		(Transformación del Material de Construcción).	Subcomponente Estructural. Subcomponente de Acabados.
		Componente Construido. (Procedimiento de Construcción).	Subcomponente de Instalaciones. Subcomponente de Equipamiento.

Tabla 1. Los procedimientos constructivos son componentes del espacio delimitante o edificado dentro del espacio arquitectónico. Por lo tanto, un Componente Construido o Constructivo puede tener en su seno, soluciones estructurales, de acabados, de paso de instalaciones y de adecuación al equipamiento del Sistema Edificio.

Por otro lado, los Componentes Jerárquicos nos muestran al espacio desde el enfoque de su importancia dentro del Sistema Edificio. El espacio puede ser característico, complementario o general. En una Iglesia, el espacio característico es la Nave Principal, mientras que se tienen algunas Capillas como espacios complementarios. Sus oficinas, sanitarios y equipamientos son espacios generales.

En el caso del Subsistema Edificado, también llamado Espacio Delimitante, los Componentes Construidos transforman al material de construcción para producir una envoltura delimitante del espacio habitable. El Componente Construido es conocido como Procedimiento de Construcción.

El procedimiento de construcción debe tener sus propios Subcomponentes Estructural, de Acabados, de Instalaciones, y de Equipamiento.

Analizando la definición anterior, podemos decir que cualquier procedimiento constructivo debe contemplar en su diseño las soluciones necesarias para darle autosoporte, apariencia, paso de instalaciones, y adecuación de equipamiento. Si tomamos como ejemplo un muro divisorio, este muro debe prever en su proceso constructivo algo que lo mantenga erguido y estable, algo que le de una apariencia estética adecuada, y algo que le permita la introducción de instalaciones y equipo especial.

No puede existir un Espacio Delimitante en la arquitectura, que sea conformado mediante un procedimiento constructivo, si no se utiliza un material de construcción. En otras palabras, no puede hablarse de un proceso de producción si no se consideran las materias primas a transformar.

En un Componente Construido, el diseño de las soluciones necesarias para satisfacer los requerimientos de los Subcomponentes Estructural, de Apariencia, de Instalaciones, y de Equipamiento, depende absolutamente del material de construcción elegido para su conformación. Regresando al ejemplo del muro, la solución del paso de instalaciones, o la solución de su acabado, o la forma en que se autosoporta, o la forma en que permitirá la colocación de equipamiento, será diferente si el muro es de tabique, o de block hueco, o adobe, o de concreto. Distintos materiales obligan distintos procedimientos de construcción.

Dado que el objetivo del presente trabajo de investigación es la Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos, debemos delimitar nuestro análisis a los procedimientos constructivos. Habiendo ubicado al procedimiento constructivo como un Componente del Espacio Delimitante o Edificado, podemos prescindir de esta generalización para enfocarnos, a otro nivel, exclusivamente a lo construido.

Apoyándonos en la relatividad de la Teoría de Sistemas¹⁸, podemos entonces definir como nuestro nuevo y único Sistema de Estudio, nuestro nuevo universo de análisis, a los Procedimientos Constructivos, a los cuales y a lo largo de todo el trabajo de Investigación les llamaremos **Sistemas Constructivos**.

Todo sistema para ser descrito debe tener recursos, y los recursos utilizados por el Sistema Constructivo son el conjunto de factores o conocimientos controlados totalmente por el arquitecto. Éstos recursos pueden ser de tres tipos: *Los Recursos Técnicos*, *los Recursos Económicos y Humanos*, y *los Recursos de Diseño*.

Los *Recursos Técnicos* de los que se vale el Sistema Constructivo son dos: *Los condicionamientos de diseño y los patrones de diseño*¹⁹. Un ejemplo de condicionamientos de diseño son los materiales de construcción elegidos y sus características: Su plasticidad, la facilidad de obtención, la resistencia, la textura, y el color, entre otras.

Un *patrón de diseño es un concepto*, y los conceptos son ideas abstractas generalizadas de casos particulares. Los conceptos de diseño son abstracciones de nuestra experiencia profesional en el mundo. Los conceptos nos permiten organizar y clasificar la experiencia. Obviamente, una gran parte de lo que aprendemos en la escuela o en la actividad profesional son conceptos de diseño. Cuando hemos aprendido un concepto de diseño, podemos responder a las propiedades abstractas o necesidades de una serie de problemas constructivos. Por ejemplo, una vez comprendido el concepto de edificio podemos clasificar una amplia variedad de construcciones en nuestra mente, e inmediatamente después podremos asociar cada construcción con un proceso o sistema constructivo específico.

Los patrones de diseño son un lenguaje universal. Cada patrón describe un problema que se plantea una y otra vez en nuestro entorno, y luego explica la esencia de la solución a ese problema, de tal manera que se pueda utilizar esa solución más de un millón de veces sin necesidad de repetirla nunca exactamente. Los patrones de diseño son aplicados por el arquitecto para generar principios o soluciones constructivos.

Un principio de construcción es un recurso de diseño. La prefabricación y los sistemas tradicionales son cada uno un principio constructivo. Sin importar su origen, los principios de construcción especifican las relaciones entre dos a más patrones de diseño. Los principios de construcción organizan los conceptos de diseño en formas particulares. Los sistemas tradicionales y prefabricados

son principios constructivos generados a partir de patrones de diseño tecnológicos para responder adecuadamente a determinados condicionamientos de diseño. Los sistemas constructivos son llamados también *Principios de Aplicación del Diseño Constructivo*. Ejemplos de principios de aplicación son los muros de concreto armado, las estructuras de acero, las armaduras de madera, las geodésicas, las lonarías, el sistema Outinord, el sistema Cortina, y el sistema Meccano, entre otros. Existen tantos principios de aplicación del diseño constructivo como imaginación y diseñadores existan en el universo.

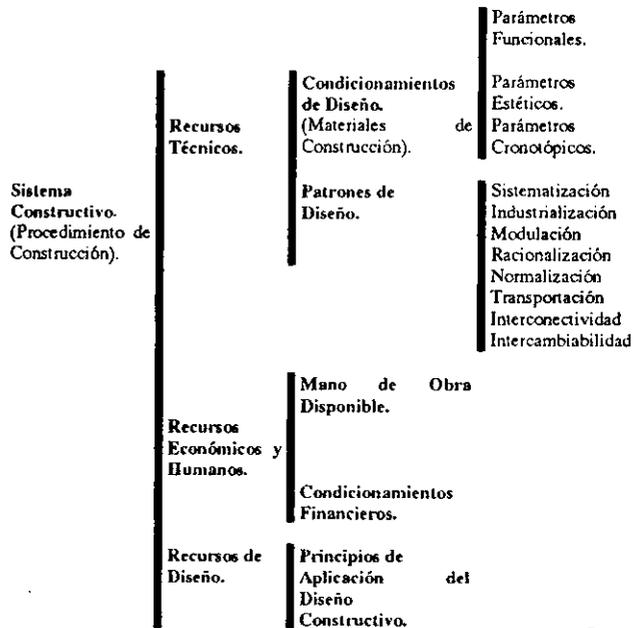


Tabla 2. Recursos de los Sistemas Constructivos Tradicionales y Prefabricados.

Por último, todo Sistema Constructivo debe considerar los **Recursos Económicos y Humanos** con los que se puede generar. Para ello es necesario conocer la *Mano de Obra* disponible, incluido su grado de especialización, y los *Condicionamientos Financieros* que permiten analizar la *Factibilidad* de su construcción.

Siendo los sistemas constructivos un recurso de diseño para la producción de un sistema edificio, debemos definir entonces cuáles son los patrones de diseño generales agrupados en él, y cuáles son los condicionamientos de diseño a los que deben responder.

Se considera que la construcción actual, que tiende a la **prefabricación integral**²⁰, es un principio consistente en

²⁰ Actualmente, el término Sistema Constructivo es *Incluyente y Dependiente* de la Prefabricación. Puede haber Prefabricación de partes determinadas o de unidades completas. La Prefabricación no es nueva, puesto que su inicio se remonta a la antigua Grecia, donde las columnas de los templos eran prefabricadas (e.g. el Partenón). Leonardo Da Vinci planteó casas construidas en serie en su ciudad utópica de Loire. Sir Joseph Paxton construyó el Palacio de Cristal pensando en su posible reubicación. La mayoría de la construcción moderna mundial es creada por medio de la prefabricación. Al rededor del

¹⁸ Ludwig Von Bertalanffy, Teoría de Compartimentos, *Perspectivas en la Teoría General de Sistemas*, pp. 126 - 127.

¹⁹ Christopher Alexander, Resumen del lenguaje, *A Pattern Language / Un Lenguaje de Patrones: Ciudades, Edificios, Construcciones*, pp. 9-22.

utilizar componentes constructivos cuyas formas y dimensiones normalizadas se fabrican en gran escala y se montan luego en el lugar donde se efectúa la construcción, permitiendo construir más rápida y económicamente, requiriendo en el proceso mano de obra especializada.

La definición anterior describe en su seno algunos de los patrones y condicionamientos de diseño fundamentales en la concepción de un sistema constructivo moderno

Los principales condicionamientos de diseño que debe responder cualquier sistema constructivo moderno son tres: *Los parámetros funcionales, los parámetros estéticos y los parámetros cronotópicos*²¹. Los parámetros funcionales son la resistencia, la estabilidad, el peso y el volumen. Los parámetros estéticos agrupan los requerimientos de apariencia óptico háptica²². Por último, los parámetros cronotópicos son el destino, el costo comercial, la topografía, el clima y la calidad.

Los parámetros funcionales y óptico hápticos responden a las características fundamentales e intrínsecas de los materiales usados en los sistemas constructivos modernos, mientras que los parámetros cronotópicos involucran las *condicionantes internas y externas* del contexto temporal y local que incide en el sistema edificio.

1.3.2 Patrones de Diseño de los Sistemas Constructivos.

Por otro lado, los principales patrones de diseño constructivo contenidos en cualquier sistema moderno son ocho:

1. Sistematización (organización y administración del proceso).
2. Industrialización (volumen y proceso de producción).
3. Modulacón (definición de componentes).
4. Racionalización (menor número de componentes).
5. Normalización (simplificación de dimensiones).
6. Transportación (simplificación de traslado).
7. Interconectividad (montaje).
8. Intercambiabilidad (recuperación).

La sistematización es un patrón de diseño que determina una visión integral del diseño, organización, clasificación y administración del sistema constructivo moderno. La sistematización implica un análisis y una programación de las instalaciones, los equipos, el personal, y los métodos productivos que intervienen en la realización de un sistema constructivo moderno. La sistematización es en sí

mundo, la prefabricación de estructuras es del 40% y la prefabricación de piezas para detalles, acabados o instalaciones es del 60% del total aproximado construido (Antoniades, A., *Architecture and Allied Design: An Environmental Design Perspective*, Capítulo 7). *La tendencia existe.*

²¹Del griego *cronos*, tiempo, y del griego *topos*, lugar. Parámetros de cierto tiempo, en cierto lugar.

²²La *Háptica* es el manejo de la textura y el color superficial, de acuerdo con el claroscuro producido por la incidencia natural o artificial de la luz sobre el material.

misma, un proceso de diseño que conduce a la organización de componentes y a su normalización. La sistematización obliga la racionalización de los métodos de construcción y los procesos de producción.

La industrialización es también un patrón de diseño que implica un conocimiento de las operaciones que inciden en la transformación de las materias primas en componentes constructivos modernos. La industrialización determina el dominio de la tecnología industrial para producir un elemento constructivo moderno. *El principal objetivo de la industrialización es abatir los costos de producción en el mínimo de tiempo.* La industrialización es un método de trabajo que requiere de la especialización del proceso de producción. La especialización implica un conocimiento de la actividad productiva que permite ejecutarla con facilidad en un proceso rutinario y repetitivo.

Industrializar el sistema constructivo significa fundamentalmente prefabricar los componentes que integrarán al sistema edificio.

La producción de materiales y elementos constructivos se genera normalmente en una fábrica, cuya distancia al terreno a edificar, *varía principalmente en función de los parámetros cronotópicos.* La fabricación de algunos componentes se puede efectuar a pie de obra o lejana al sistema edificio.

El patrón de diseño llamado **modulación** condiciona la creación de componentes a un seccionamiento que posea una coordinación geométrica rigurosa entre las distintas partes que integran el edificio y su compatibilidad. La coordinación geométrica rigurosa es llamada **coordinación modular**. La modulación se funda en la adopción de una unidad geométrica y formal de medida llamada módulo. Un módulo determina las proporciones que han de tener las distintas partes de un edificio de acuerdo a una unidad de medida convencional²³. La coordinación modular es fundamental en la búsqueda de la unidad dentro de una *normalización*. Si existe *normalización*, podemos pensar en *intercambibilidad*.

La **racionalización** es un patrón de diseño que requiere la definición o limitación del *menor número de variantes posibles* de componentes constructivos modernos en un sistema edificio. La racionalización implica la definición de elementos sencillos en forma y número, tendiendo a *evitar la complejidad* del sistema constructivo moderno. **Entre menos tipos de componentes constructivos integren a el edificio, mejor será la solución generada mediante el diseño constructivo.** La generación de menos variantes de componentes mejora la organización sistemática del proceso productivo de los componentes, para obtener un mayor rendimiento de producción. La racionalización ayuda a

²³En la arquitectura moderna, el *módulo* es una unidad convencional adoptada, según diferentes criterios, para satisfacer las exigencias de la modulación. El módulo de 10 cm tiende a imponerse internacionalmente.

optimizar el consumo de los materiales constructivos, y por lo tanto, reduce los costos de edificación. Por lo anterior, la racionalización implica también la concepción de componentes constructivos que contengan el mínimo de material requerido, trabajando a su máxima capacidad y estabilidad. La racionalización es ahorro.

La normalización²⁴ es un patrón de diseño que requiere de la definición de normas y criterios de aplicación de las mismas en el proceso de producción de los componentes constructivos. La normalización implica un entendimiento y comunicación entre todos los protagonistas de la producción de un sistema edificio. Las normas permiten la intercambiabilidad, la comercialización, la uniformidad globalizada, y la libertad de elección de un componente constructivo. Para lograrlo, la normalización se vale de la coordinación dimensional, que permite acordar características de calidad, dimensiones y medidas en reglas claras de intercambio comercial de productos o técnicas disponibles. La coordinación dimensional y la coordinación modular actúan juntas en la definición de un componente constructivo. La normalización es el proceso de diseño por el cual las partes integrantes de un sistema edificio son similarmente producidas entre distintos fabricantes, dentro de un rango aceptable de error en el tamaño, la dimensión, el peso y la calidad. Los diseños especiales con medidas especiales son contrarias al concepto de normalización.

El patrón de transportación o transportabilidad es el enfoque de diseño mediante el cual todo componente constructivo debe permitir su traslado. La capacidad de traslado está íntimamente ligada a los parámetros cronotópicos de una sociedad. La coordinación modular y dimensional permiten la transportabilidad. Los medios de transporte disponibles en un contexto dado pueden influir en la concepción y producción de un componente constructivo. La condición de transportación que debe cumplir un componente, no solo implica grandes trayectos, sino movilidad dentro del mismo sistema edificio antes de su montaje y conexión. La movilidad de un componente depende de su modulación y normalización. El peso del elemento constructivo adquiere relevancia.

El patrón de diseño llamado interconectividad determina un análisis profundo de las condiciones de montaje y las formas de conexión de un sistema constructivo. Los componentes constructivos deben permitir un proceso sencillo de ensamblaje o anclaje donde las conexiones entre los elementos cumplan con requerimientos de resistencia y estabilidad. Las juntas y conectores constructivos requieren de un proceso detallado de diseño constructivo especializado, que considere la transmisión de cargas, las tolerancias dimensionales y la absorción de efectos de deformación. Aunque difícil de conseguir, sobre

todo en sistemas prefabricados, el objetivo fundamental de la interconectividad es la continuidad estructural. Una estructura monolítica tiene continuidad en su transmisión de esfuerzos, mientras que en un sistema constructivo prefabricado sufre de carencia de rigidez.

Por último, el patrón de intercambiabilidad es la concepción inicial del componente como elemento plenamente recuperable y reaprovechable en una distinta realidad cronotópica. La intercambiabilidad requiere de una previsión en la normalización, la modulación, la transportación y la interconectividad de un elemento constructivo. La intercambiabilidad implica una capacidad de sustitución por otros elementos similares. La sustitución puede generarse sí y solo si la normalización se globaliza y si se facilita el control de las conexiones.

Los patrones del diseño constructivo permiten implementar un medio coherente y racional de evaluación de los componentes utilizados en un sistema edificio determinado.

Conociendo el grado o nivel alcanzado de la sistematización, la industrialización, la modulación, la racionalización, la normalización, la transportación, la interconectividad, y la intercambiabilidad que posee un sistema constructivo moderno, el arquitecto adquiere las herramientas fundamentales para la ponderación, verificación y validación adecuadas de cualquier propuesta futura de diseño constructivo.

1.3.3 Definición de Material de Construcción.

Siendo los materiales constructivos y sus propiedades un recurso técnico de los sistemas constructivos, debemos definir qué son los materiales, cuáles pueden ser considerados constructivos, y cuáles son las características fundamentales de cualquier material constructivo.

De todos es conocido, que la materia es todo aquello que existe en el universo, por lo que cualquier objeto existente está constituido de ésta. Se sabe que la materia está constituida de partes modulares infinitamente pequeñas llamadas átomos, y que los átomos se agrupan generalmente por medio de moléculas. El átomo no es la parte constituyente más pequeña de la materia. Se ha descubierto en los últimos años que los átomos están formados de bloques mucho más pequeños, entre los que destacan los quarks, de los que se piensa, por el momento²⁵, son las partículas modulares más pequeñas conocidas que integran la materia.

De la agrupación y configuración interna²⁶ de cada átomo, se pueden distinguir múltiples tipos de materia, llamados elementos químicos de la materia. Se conocen

²⁵En aceleradores de partículas franceses se han encontrado evidencias de que los quarks están constituidos por pequeñísimas partículas conocidas como super cuerdas.

²⁶Más precisamente, de la cantidad de electrones, protones y neutrones agrupados dentro de un átomo, depende el tipo de elemento que se constituye.

²⁴El término correcto es normalización o tipificación. Incorrectamente utilizamos el anglicismo Estandarización.

actualmente 112 elementos²⁷ de los que toda la materia del universo conocido está constituida. De las propiedades químicas de los elementos dependen las características físicas que de ellos percibimos. Las propiedades químicas de un elemento no dependen de su núcleo, sino de los electrones que gravitan en su entorno, pero sobre todo, de aquellos electrones que se ubican en su capa externa. Todos los elementos cuya capa exterior contiene igual número de electrones, gozan de propiedades químicas similares. De esto se desprende la existencia de familias de elementos como los metales alcalinos, los metales alcalinotérreos, los gases halógenos, y los gases raros, entre otros²⁸.

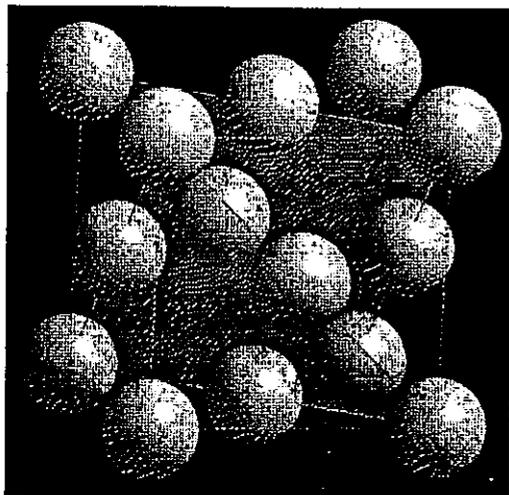


Ilustración 1. La estructura molecular de los materiales sólidos metálicos mostrada en un modelo tridimensional.

Combinando los elementos químicos entre sí, se pueden generar compuestos complejos cuyas propiedades dependen de sus estructuras moleculares. Todos los elementos que existen en la naturaleza están forzosamente agrupados en moléculas. La única excepción posible son los llamados gases raros, como el helio y el criptón. El que un elemento pueda combinarse en moléculas depende de los electrones faltantes o excedentes en su última órbita²⁹. Los gases raros no tienen electrones faltantes o sobrantes, por que no se pueden agrupar, y mucho menos combinar con algún otro elemento. Para que se considere formada una molécula, deben agruparse cuando menos dos átomos³⁰.

Todos los materiales conocidos son materia formada de distintas estructuras moleculares enlazadas, todas ellas constituidas de muy variados y diversos elementos. Por lo que se dice que los materiales son sustancias complejas

²⁷Se pueden encontrar en la naturaleza los primeros 92 elementos. Los restantes han sido producidos artificialmente y son altamente inestables.

²⁸La composición detallada de las familias de elementos se puede observar claramente en la conocida Tabla Periódica de Mendeleiev.

²⁹A esto se le llama *valencia electrónica*, la cual puede ser positiva o negativa.

³⁰El oxígeno es un ejemplo, ya que en su forma libre, está disponible en moléculas conformadas por dos átomos de éste.

que agrupan múltiples compuestos³¹ químicos entrelazados.

Un material natural está presente en la naturaleza en sólo tres estados físicos posibles: Los sólidos, los líquidos y los gases. La mayoría de los materiales transitan constantemente por éstos estados en función de los condicionamientos externos presentes en un momento determinado, pero generalmente permanecen naturalmente en un sólo estado. Por lo anterior, se pueden clasificar todos los materiales en función de su estado físico.

Los materiales sólidos tienen forma y volumen propio definido, que son capaces de mantener a pesar de las variantes en las condiciones externas que los rodean. Los materiales líquidos son similares a los sólidos en el rasgo de tener volumen, pero requieren de un recipiente que les de forma. Los materiales gaseosos no tienen volumen ni forma definida, por lo que sus moléculas se expanden indefinidamente.

En la construcción de un sistema edificio, el arquitecto utiliza primordialmente *materiales sólidos* para darle forma. La materia prima de la arquitectura es el espacio, mientras que los materiales constructivos son la materia prima de la forma arquitectónica construida.

Salvo las instalaciones especiales, algunas soluciones estructurales y aislantes, y algunos principios de diseño arquitectónico bioclimático, que consideran materiales líquidos y gaseosos como el aire, el agua y los hidrocarburos, la arquitectura se concentra fundamentalmente en el manejo de los materiales sólidos para la concepción y configuración de sistemas constructivos.

Los materiales sólidos se pueden clasificar en cuatro principales grupos que dependen del tipo de partículas que constituyen la materia en cuestión. Los materiales sólidos pueden ser iónicos, moleculares, covalentes y metálicos. No todos los materiales sólidos son utilizables en la construcción y sólo algunos de los sólidos iónicos, moleculares, covalentes o metálicos son aplicables a la arquitectura.

Los materiales sólidos metálicos son elementos químicos que generalmente se muestran opacos o lustrosos en su superficie. Son buenos conductores de la electricidad y el calor, y cuando son pulidos, se convierten en buenos reflectores de la luz. La mayoría de los Metales son fuertes, dúctiles y maleables, y en general, de una alta densidad. La densidad es la característica que presenta una materia que agrupa sus elementos en estructuras moleculares sumamente compactas. Los metales son uno de los materiales constructivos básicos utilizados en las estructuras y la tecnología. Los compuestos basados en aleaciones de hierro,

³¹Las moléculas representan enlaces de elementos llamados compuestos químicos.

como el hierro colado, y el acero estructural (hierro y carbono), son los más usados en los sistemas constructivos.

Los **materiales sólidos iónicos** son una categoría especial de sólidos no metálicos predominantemente opacos y cristalinos. Dependiendo de ciertas condiciones, pueden ser aislantes eléctricos naturales o conductores eléctricos controlables. Por lo anterior, los materiales sólidos iónicos son llamados **Semiconductores**³². La electrónica moderna es una realidad gracias a la existencia de los materiales semiconductores. De semiconductores están constituidos los transistores³³, la electrónica de estado sólido, y las computadoras. El silicio es el material más representativo de los semiconductores, y conforma el 27.7 % de la corteza terrestre. Sólo el oxígeno molecular es más común que el silicio, el cual, por desgracia, es usado en la construcción tradicional actual solamente como un aislante y sellador excepcional.

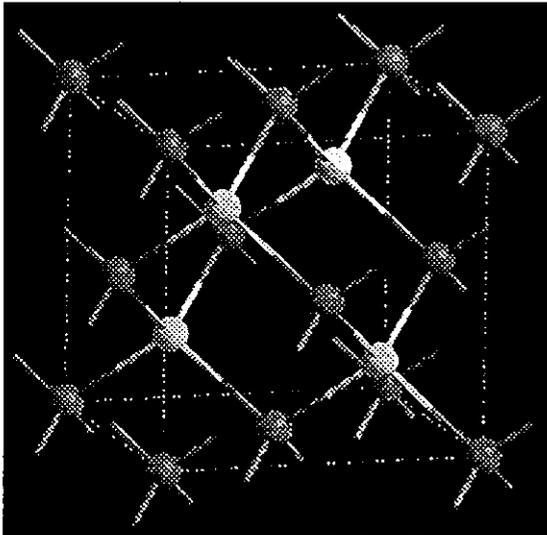


Ilustración 2. La estructura molecular de los materiales semiconductores mostrada en un modelo tridimensional.

Los **materiales sólidos moleculares** son un grupo de materiales con la característica común es la complejidad de sus estructuras moleculares y sus propiedades resultantes. Los materiales sólidos moleculares son conocidos con el nombre de **Polímeros**. Un polímero es una construcción molecular que utiliza repetitivamente pequeñas y sencillas unidades químicas. En algunos casos la repetición es lineal, que lo hace verse como una cadena conectada por sus eslabones. En otros casos las cadenas están ramificadas o interconectadas para formar estructuras o redes tridimensionales. La unidad repetitiva que constituye a los

³²Se le llama ión a un átomo o molécula que tiene la particularidad de poseer una carga eléctrica positiva o negativa, debida a un defecto o aun exceso de electrones en su última capa.

³³El *diodo común* es el equivalente eléctrico de una válvula hidráulica de no retorno, y consiste en un emparejado de dos capas de sólidos iónicos, uno consistente en moléculas de silicio y boro (tipo P - positivo), el otro de silicio y fósforo (tipo N - negativo). El *transistor común* consiste en tres capas: P, N y P.

polímeros generalmente es llamada *Monómero*. La longitud de la cadena del polímero está determinada por el número de monómeros contenidos en ella. A lo anterior se le define como el *Grado de Polimerización*. La mayoría de los plásticos conocidos y todas las fibras naturales son polímeros. Los polímeros son usados en la construcción moderna en forma de madera, algodón, plásticos, hidrocarburos, fibras sintéticas, y pintura.

Los **materiales sólidos covalentes** son sustancias conocidas como inorgánicas y no metálicas, y generalmente son usados en funciones que implique grandes temperaturas. Por lo anterior, los materiales sólidos covalentes son llamados **Cerámicas**³⁴. Son sumamente frágiles pero altamente moldeables. Las cerámicas no son solamente usadas en artículos artesanales, mobiliarios sanitarios o la grasa de grafito, si no que tienen aplicaciones más especializadas. Todos lo materiales formados por óxidos, carburos, dióxidos y nitratos son cerámicas. En la arquitectura usamos fundamentalmente cerámicas tales como el concreto, el tabique de barro, el adobe, el vidrio y las losetas, para construir todos los sistemas edificio.

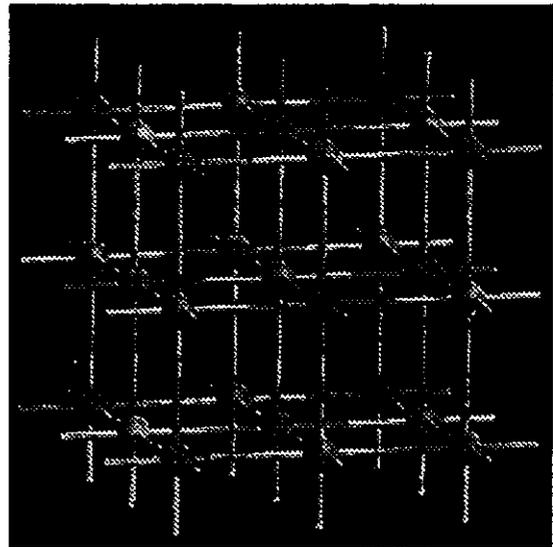


Ilustración 3. La estructura molecular de los materiales cerámicos mostrada en un modelo tridimensional.

Los cuatro grupos de materiales sólidos conocidos como metales, cerámicas, semiconductores y polímeros son considerados como los **materiales constructivos básicos de la arquitectura moderna**. *Cualquier material perteneciente a los grupos mencionados podría ser utilizado en la edificación de sistemas constructivos*. Sin embargo, los materiales usables en los sistemas constructivos modernos deben cumplir con ciertas características que los hacen elegibles y óptimos para su consideración.

1.3.4 Propiedades de los Materiales de Construcción.

³⁴Que requiere un enlace covalente. La covalencia necesita que un elemento tenga valencia positiva y el otro una valencia negativa. La unión de moléculas por éste proceso se llama también dipolo - dipolo.

Se mencionó que todo sistema constructivo moderno debe cumplir con ciertos condicionamientos de diseño. Los parámetros funcionales y estéticos describen global y ampliamente las propiedades de los materiales constructivos utilizados en un sistema constructivo moderno. Un sistema constructivo utiliza éstas propiedades materiales para cumplir con los patrones requeridos de sistematización, industrialización, modulación, racionalización, normalización, transportación, interconectividad e intercambiabilidad. Un material constructivo debe contar con propiedades de resistencia, estabilidad, peso, volumen y apariencia óptico háptica suficientes que le permitan cumplir eficientemente con los objetivos requeridos por el sistema constructivo al cual conforman.

La Resistencia de un Material es la capacidad que tiene éste para soportar las condiciones externas requeridas de carga y ambientales. Las condiciones de carga plantean que un material usado en la producción de componentes pueda soportar esfuerzos tales como la tensión, la compresión, la torsión, la flexión, el cortante y la fricción. Las condiciones ambientales requieren una resistencia al agua, al calor y el ruido. Un componente constructivo debe responder eficiente y funcionalmente a las condiciones externas de carga y ambientales.

La Compresión es la fuerza más simple de la naturaleza, y generalmente es la expresión directa de la gravedad terrestre. La gravedad mantiene a todos los cuerpos naturales y estructuras creadas por el hombre firmes a la superficie terrestre. La compresión es una acción mecánica que tiende a reducir el volumen de un objeto al ejercer una presión sobre él. Una pieza estructural se halla sujeta a un esfuerzo a compresión cuando se le somete a una acción de dos fuerzas iguales y dirigidas una en dirección contraria de la otra. La deformación del objeto es elástica mientras la carga a compresión no exceda la capacidad de resistencia del material que lo compone. Las formas estructurales que responden a los esfuerzos a compresión son generalmente pesadas, gruesas y cortas.

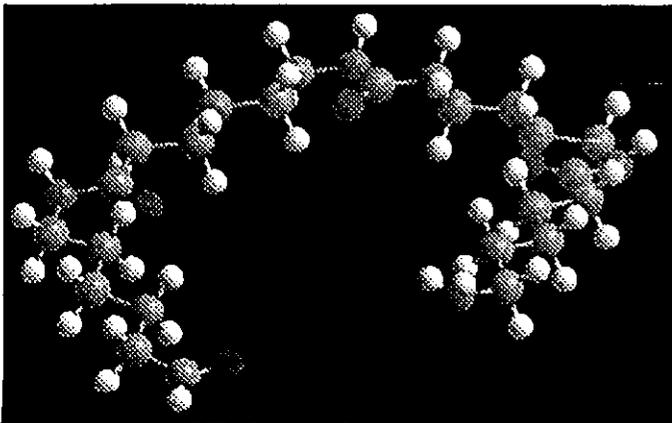


Ilustración 4. La estructura molecular de los materiales polímeros mostrada en un modelo tridimensional.

La Tracción es un esfuerzo contrario a la compresión. La tracción es una fuerza que, aplicada a un objeto, intenta estirarlo impidiéndole contraerse. Una pieza estructural se halla sujeta a un esfuerzo a tracción cuando se le somete a una acción de dos fuerzas iguales y dirigidas una alejándose de la otra. Las formas derivadas de fuerzas a tracción son delgadas, ligeras, y a menudo lineales en su apariencia.

La Tracción y la compresión son las dos formas más puras del esfuerzo y son las bases de los esfuerzos de torsión, flexión, y cortante.

Se dice que los esfuerzos combinados de Tracción y compresión generan esfuerzos llamados complejos. En los esfuerzos complejos, un componente estructural resiste en función de la forma de su sección y su forma volumétrica. En la tracción y la compresión puras, únicamente el área de la sección de un elemento estructural importa.

La Torsión es un esfuerzo complejo que ocasiona una deformación del cuerpo estructural sometido a dos pares de fuerzas que actúan en direcciones opuestas y en planos paralelos distantes, de modo que cada sección del mismo objeto sufra una rotación respecto a otra sección próxima. La torsión implica un retorcimiento de la forma prismática de un componente estructural al rededor de su eje longitudinal. La torsión genera una deformación del componente causada por el giro contrario de las secciones extremas ubicadas en sus apoyos.

La Flexión como fuerza combinada genera una deformación de un componente estructural cuando la pieza se halla sometida a fuerzas transversales generalmente situadas en un mismo plano y que actúan perpendiculares al eje de la pieza. Por el efecto de éstas fuerzas, la pieza cede y se deforma. Si se considera un elemento apoyado en dos extremos soportando una carga central, el esfuerzo de flexión genera tracción en sus fibras inferiores, y compresión en sus fibras superiores. La distancia entre las fibras trabajando a tracción y compresión genera un momento flexionante. Entre más amplia y peraltada sea la sección en función del claro que libra, menor será el esfuerzo de flexión.

El Cortante es un esfuerzo combinado que trata de cortar en dos piezas un componente estructural. El elemento opone una resistencia en la que la fuerza que se ejerce perpendicularmente al eje longitudinal de la pieza, tiende a partirla en dos por una sección transversal. El cortante es menor en el centro de un claro, mientras que en los extremos apoyados aumenta. La forma y el peralte de la sección son fundamentales en la capacidad de resistencia de un componente.

Como caso aislado, la Fricción es la resistencia que se opone al deslizamiento o la rodadura de la superficie de un cuerpo sobre la de otro. Para hacer que un cuerpo se deslice sobre otro es necesario vencer cierta resistencia. La fricción resulta del grado de rugosidad de las superficies en contacto.

La fricción genera una deformación de los cuerpos, vibraciones moleculares, producción de electricidad y desprendimiento de calor. Si el componente constructivo será usado como pavimento, o se está evaluando las condiciones de interconectividad de sus apoyos, el análisis de la fricción toma una importancia preponderante.

La resistencia al Agua es necesaria en la mayoría de los materiales de construcción. Si el material se degrada o pudre con el contacto directo del agua, se pierden entonces sus posibilidades de uso en la Industria de la Construcción. Si el material resiste a la humedad ambiental y también a la acción directa del agua, su durabilidad aumenta y su versatilidad también.

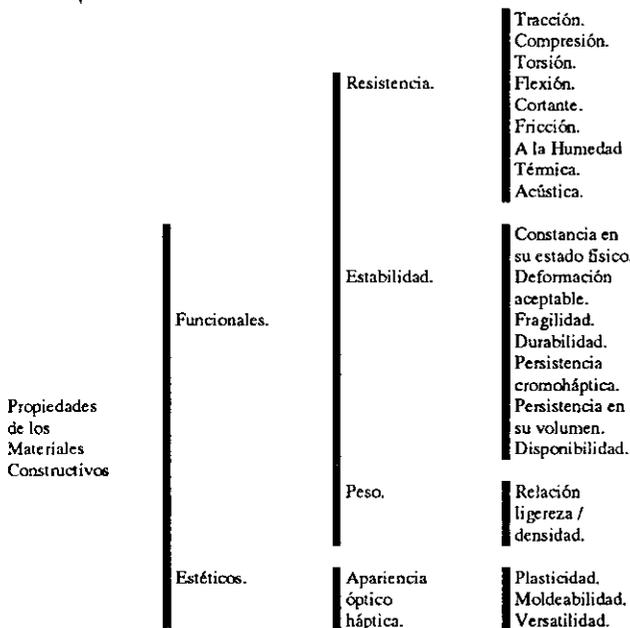


Tabla 3. Propiedades que deben cumplir los materiales de construcción requeridos en cualquier sistema constructivo.

La resistencia Térmica es fundamental para un material que es usado en un componente constructivo. No solo debe resistir las inclemencias de un incendio, sino procurar al espacio interno el aislamiento térmico necesario para crear un ambiente agradable. Sometidos a temperaturas extremas, los elementos constructivos pueden fracturarse o derretirse. En climas cálidos o fríos, el material que integra al componente constructivo puede ayudar a mantener una temperatura aceptable en el interior del edificio. *Los materiales poco densos son mejores aislantes térmicos que los materiales muy densos.* La deformación de un material durante un incendio también debe considerarse.

La resistencia Acústica es un factor poco evaluado en los materiales usados comúnmente en la construcción. Sin embargo, el aislamiento acústico es muy importante en un edificio. Un componente constructivo cuya función sea dividir el espacio, debe asegurar el mínimo de privacidad y

tranquilidad interior. *Por lo general, los materiales que son aislantes térmicos son buenos aislantes acústicos.*

Al evaluar un material, que puede ser usado en componentes estructurales, sin conocer aún su forma arquitectónica construida última y su función final, es improcedente el análisis de los esfuerzos de torsión, flexión, cortante y fricción.

Un material constructivo, que será usado en la edificación, debe ser evaluado en función de la tracción y la compresión que resisten únicamente. Sin embargo, *la resistencia al agua, térmica y acústica es evaluable* aún sin conocer la forma final producida.

La Estabilidad de un Material es la capacidad que tiene éste de mantener su integridad física, formal y dimensional a pesar de las condiciones externas incidentes a lo largo de un tiempo determinado. El material debe reunir cierta estabilidad dentro de rangos permisibles que permitan una deformación aceptable, una constancia en su estado físico, una durabilidad, una persistencia de su volumen, poca fragilidad, una persistencia en su acabado, y por último, una disponibilidad en función de su abasto local.

La Constancia en su Estado Físico es la capacidad de un material de mantenerse en un sólo estado físico de la materia, es decir, mantenerse sólido, líquido o gaseoso, durante todo el lapso de su utilización. Un material constructivo sólido que se evapora o diluye ya colocado, de acuerdo a los cambios climáticos, no es apto para la edificación de un sistema constructivo en general. Los materiales constructivos usables en la edificación del futuro *no deben transitar* de un estado a otro.

La Deformación aceptable es la característica propia de un material de mantener su forma constante a pesar de los esfuerzos incidentes sobre él. En el diseño estructural, todos los cuerpos sometidos a una carga experimentan una deformación más o menos importante. Dependiendo de la intensidad de la fuerza, el modo como se aplica ésta, y la respuesta mecánica del material, la deformación puede ser temporal o permanente. Cuando se trabaja una estructura dentro del rango de las deformaciones temporales, se dice que se trabaja dentro del **límite elástico del material**. Si se diseña una estructura dentro del rango de resistencias donde la deformación comienza a ser constante o permanente, sin llegar a la ruptura, se dice que se trabaja dentro del **límite plástico del material**.

La Fragilidad de un material influye en la decisión de usarlo como material constructivo moderno. Aquellos materiales que llegan fácilmente al punto de ruptura al aplicárseles un carga moderada, son menos elegibles que un material que resiste grandes cargas sin acercarse a su punto de fractura. Recordemos que un material constructivo es frágil si se rompe fácilmente.

La Durabilidad es un factor importante en la elección de un material constructivo moderno. Si tomamos en cuenta

que un patrón de diseño constructivo es la intercambiabilidad que plantea la recuperación y reaprovechamiento del componente en otro lugar y tiempo, el material con el que está compuesto debe permitir un periodo de vida superior al que tiene previsto el edificio para el que fue diseñado. Un material que se degrada³⁵ fácilmente durante su periodo de uso, no es aceptable en un proceso constructivo moderno.

La **Persistencia Cromoháptica** debe estar presente en cualquier componente constructivo. Un material que pierde su textura con el uso, o el color con el contacto de la radiación solar, no es adecuado para la construcción de un sistema constructivo moderno. La *persistencia cromoháptica* va muy relacionada con la durabilidad. Por otro lado, el material usado debe tener un color y textura propio que permita prescindir de colorantes y recubrimientos adicionales posteriores a su fabricación.

La **Persistencia en su Volumen** es un requerimiento básico que debe reunir un material para su futura consideración en un componente constructivo. Si una sustancia se expande o se encoge con la humedad ambiental, si un material se dilata o contrae con la temperatura, *la variación de su volumen debe oscilar dentro de rangos definidos y permisibles*. Las variaciones deben ser por lo regular mínimas en sus dimensiones y su volumen corporal.

Dependiendo del volumen a utilizar, la **Disponibilidad** influye en la elección de un material dentro de un sistema constructivo moderno. Un material de construcción debe estar disponible en la región donde se edifica el sistema edificio. *Debe ser fácil su obtención, como fácil su fabricación*. Por otro lado, el material debe ser abundante si queremos cumplir con los patrones de diseño mencionados llamados sistematización, normalización e industrialización.

El **Peso de un Material** influye en su probable elección dentro de un proceso constructivo. Si bien las estructuras tienden a ser cada día más ligeras, los materiales demasiado ligeros tienden a soportar poco los esfuerzos incidentes. *La elección de un material pesado influye en la estructura que lo soportará*. Ésto incide en el costo total del espacio arquitectónico edificado. El que un material sea pesado, depende de su **Relación Ligereza / Densidad**. Un material sumamente denso es pesado, mientras que los materiales poco densos son ligeros. El material elegido en la producción de componentes constructivos, debe responder a ciertas condiciones de ligereza previstas en su diseño arquitectónico.

La **Apariencia Óptico Háptica** de un material está determinada por la capacidad que muestra una sustancia, durante su periodo de aplicación en un componente constructivo, de permitir una amplia variedad de formas,

texturas, colores, y funciones, de acuerdo a los requerimientos de diseño. La apariencia final de un componente constructivo está íntimamente ligada a las características de **plasticidad, moldeabilidad y versatilidad** que posee el material de construcción, las cuales a la vez inciden en el grado de **racionalización, industrialización, modulación y normalización** del sistema constructivo moderno diseñado por el arquitecto.

La **Plasticidad** es la capacidad de los materiales de permitir su aplicación flexible a formas libres construidas. Un material es plástico si adquiere determinada forma por efecto de un proceso de producción, conservándola indefinidamente o permanentemente después de su fabricación. *Los materiales predominantemente plásticos permiten su moldeabilidad*³⁶.

La **Moldeabilidad** es la capacidad de un material de permitir que, el componente que conforma, pueda ser reproducido ampliamente mediante un molde específico y único. *A este proceso se le llama producción en serie*. Éste procedimiento de fabricación es fundamental en los sistemas constructivos contemporáneos. Sólo así, un componente constructivo puede cumplir con las metas trazadas por el arquitecto al evaluar el grado de industrialización, modulación, normalización y sistematización de su sistema constructivo. *Un material debe permitir no solo la elaboración de moldes, si no que debe asegurar una fácil separación de éste, sin fracturarse o deteriorarse*.

Materiales de Construcción según su Industrialización y Comercialización.	de	Materia Prima. (Material Amorfo).	Yeso. Cartón. Madera. Acero.
	de	Producto Terminado. (Material Mórfico).	Tablaroca. Triplay. Ángulos Estructurales.

Tabla 4. Ejemplos de Materiales de Construcción comercializados como Materia Prima o como Producto Terminado.

La **Versatilidad** de un material esta determinada por la permisibilidad de aplicación de éste a varias funciones, varias formas, diferentes texturas y distintos colores. *El concreto armado es un ejemplo moderno de la versatilidad de un material*. Lo mismo es aplicado a pavimentos que a soportes, o a esculturas urbanas. Los distintos destinos deben ser abarcados por un material adecuado. Se puede inferir que, una de las condiciones que definen la versatilidad de función y forma de un material, está ligada a su capacidad de resistencia medida y comprobada a varios esfuerzos al mismo tiempo, no sólo a uno. Si el

³⁵Materiales como el adobe, el bambú o el tabique, se degradan o deterioran fácilmente con las inclemencias cronotópicas, y sin embargo se siguen usando en la construcción.

³⁶En la naturaleza existen cuatro tipos de materiales plásticos: Los derivados del petróleo, los animales, los vegetales y los minerales. Un plástico vegetal es el celuloide, mientras que uno animal es la caseína. El silicón es un plástico mineral, mientras que el polivinil está basado en los hidrocarburos.

material puede responder a todos los esfuerzos mencionados anteriormente, es de suponerse que será sumamente versátil, porque podrá ser elegido para construir soportes, cubiertas, elementos decorativos, pavimentos y elementos divisores del espacio.

De lo anterior podemos desprender una afirmación que manejaremos como una **Hipótesis Particular del Trabajo de Investigación**, la cual articula y complementa a la **Hipótesis General** presentada previamente:

Un material constructivo óptimo, que es aplicable a la producción de componentes constructivos, transita siempre entre los límites definidos por el cumplimiento de los patrones de diseño de un sistema constructivo, y la verificación de las propiedades funcionales y estéticas que posee. Un arquitecto debe aplicar esta definición cuando se trata de elegir un material idóneo utilizable en su diseño constructivo.

A ésta definición de materiales constructivos, debemos añadir por último que si consideramos al material constructivo usado en la construcción mundial actual, desde un punto de vista comercial o industrial, podemos ver que su utilización permite clasificarlo en dos grandes grupos: *El Material de Construcción como Materia Prima, y el Material de construcción como Producto Terminado.*

Este Enfoque Comercial e Industrial es necesario, puesto que no se podría evaluar igual a un material de construcción como **Materia Prima** que uno como **Producto Terminado**.

Podemos definir a la **Materia Prima** como todo aquel material producido masivamente y que todavía no ha sido aplicado, o transformado industrialmente en productos más complejos. *Tiene la característica principal de ser predominantemente amorfo.*

Un **Producto Terminado** es aquel material constructivo que en sí mismo posee mezclados o integrados industrialmente varios materiales primarios, donde *su característica más importante es que tiene una forma definida y diseñada.*

Podemos aclarar esta definición si consideramos el ejemplo de la **Tablarroca**. En este laminado, se unen las características de dos *Materias Primas*: el Yeso y el Cartón. Cada uno de estos materiales puede ser utilizado individualmente en la Industria de la Construcción como **Material Constructivo**, pero reunidos en la **Tablarroca**, tenemos un material de construcción diferente cuya cualidad es constituirse en un **Producto Terminado**. También podríamos clasificarlo como un **Material Compuesto** (que más adelante será definido), pero al clasificarlos por su forma de Comercialización e Industrialización, tenemos entonces una forma distinta de analizarlos.

He aquí otra **Hipótesis Particular** que complementa y articula a nuestra **Hipótesis General**, la cual también deberemos verificar:

Todos los Materiales de Construcción que sean comercializados como Materia Prima, pueden ser evaluados de acuerdo a las propiedades ya definidas que deben cumplir todos los Materiales de Construcción. Sin embargo, si el Material analizado es comercializado como un Producto Terminado, a las propiedades mencionadas se les deben de añadir los patrones de diseño que deben poseer los Sistemas Constructivos.

Regresando al ejemplo de la **Tablarroca**, además de conocer su resistencia, su estabilidad, su peso o su volumen, es necesario conocer su grado de sistematización, industrialización, modulación, racionalización, normalización, etc.

Como se observa inicialmente, bajo éste último ejemplo, nuestra **Hipótesis Particular** es aplicable y nos permite definir que actualmente existe una íntima relación entre el **Material de Construcción** y el **Sistema Constructivo**. Es más, un **Material de Construcción** puede ser tratado y analizado como **Sistema Constructivo**, en la medida en que el **Material**, como *producto terminado*, va adquiriendo diferentes niveles de complejidad en su diseño y se va convirtiendo gradualmente en un **Sistema Constructivo integral**. *Como abordaremos más adelante, los Nuevos Descubrimientos en la Investigación de Materiales nos demuestran esta tendencia y realidad.*

Podemos afirmar entonces que casi todos los materiales de construcción usados en la actualidad están siendo comercializados o industrializados como **Productos Terminados**, por lo que la **Evaluación** de los **Nuevos Materiales** debe contemplar dicha relación.

1.4 Definición de Método de Evaluación.

Hasta el momento hemos definido claramente qué es un edificio, qué es un sistema constructivo, y qué es un material de construcción, pero de acuerdo a nuestros objetivos trazados, debemos definir también qué es **evaluación**, pero sobre todo qué se debe entender por **método de evaluación**.

En su sentido más simple, **evaluar** significa valorar un objeto, conociendo sus alcances y describiendo su actuación para con ello emitir una *toma de decisión* posterior. **Valorar** implica emitir un **juicio de valor**, el cual sirve de *calificación o parámetro de medición* durante la evaluación.

Bajo el enfoque de la Administración³⁷, se define a la **Evaluación** como el análisis y valoración de cada una de

³⁷ Visto bajo el enfoque de la Teoría de la Administración la Evaluación es parte del proceso natural y tradicional de la administración. Dentro de este proceso existen cuatro fases comúnmente conocidas: La Planeación, la Organización, la Dirección, y el Control. En la Planeación, se determinan los propósitos, objetivos, estrategias, políticas, programas, presupuestos y

las alternativas, donde se pone en consideración las ventajas y desventajas de cada una de ellas, auxiliándose de la investigación y de técnicas para la toma de decisión. Estas técnicas pueden ser los *Modelos Matemáticos*, los *Árboles de Decisión*, o la *Investigación Operativa*, entre otras.

Si analizamos lo anterior, desde el punto de vista del proceso de investigación³⁸, descubriremos que la fase de planeación está representada por la definición de los objetivos generales y específicos, mientras que el control implica la ponderación del alcance logrado por ellos.

Continuando con el enfoque administrativo, existen principalmente dos tipos de factores que incurren en el proceso de evaluación: Los primeros son de carácter cuantitativo³⁹, y los segundos son cualitativos⁴⁰. *La Evaluación es entonces un resultado de la medición de estos dos factores.*

Así, el proceso de evaluación se convierte en una técnica que sirve de herramienta para llevar a cabo el proceso de control. Las Evaluaciones son en esencia Sistemas de Información, donde el Método de Valoración es fundamental para mostrar los resultados. La evaluación se define como el proceso mediante el cual se produce un juicio o concepto sobre la conveniencia o necesidad de realizar un proyecto⁴¹, elaborado con base a las pautas definidas en el cuerpo de objetivos presentados por el investigador⁴².

Como se describió anteriormente, y quedó especificado en el enunciado de la Hipótesis General de este trabajo, la evaluación de los nuevos materiales y sistemas constructivos están implicados en un proceso de diseño de tipo arquitectónico, específicamente constructivo. Esta definición nos obliga a analizar el concepto de la evaluación desde el punto de vista del proceso de diseño.

procedimientos. En la Organización, se revisa la división del trabajo, donde se jerarquiza y se describen las funciones de los miembros de la entidad analizada, además de manejar la coordinación. En el caso de la Dirección, se toman las decisiones, se maneja la integración de los recursos, se motiva a los miembros de la entidad, se procura la comunicación y la supervisión. En el Control, se establecen las normas, los criterios de medición, se efectúa una corrección del funcionamiento, y finalmente se genera una retroalimentación. Es en la fase de Control donde la evaluación tiene lugar, *donde uno se pregunta cómo se han realizado las cosas*. Esta última pregunta es la esencia de la evaluación. Aunque dentro de las cuatro fases que se mencionan, el Control aparece como la última del proceso, se define que en la administración, las fases ocurren simultáneamente. Es más, el Control está estrechamente ligado a la fase de Planeación, donde el administrador difícilmente delimita si está planeando o controlando, porque el control es básico para poder reiniciar el proceso de planeación. Es por esto que la evaluación adquiere un papel fundamental en la administración, donde se le define como un proceso complejo para corregir defectos o desviaciones en la ejecución de planes realizados.

³⁸ Una investigación científica se evalúa en función del cumplimiento de sus objetivos trazados inicialmente. En otras palabras, el control de la investigación existe en función de los objetivos previstos.

³⁹ Mario Tamayo y Tamayo, *Diccionario de la Investigación Científica*, p. 72.

⁴⁰ *Ibid.*

⁴¹ Para los efectos del presente trabajo de Investigación, definiremos como *Método de Evaluación* al proceso de valoración mencionado.

⁴² Mario Tamayo y Tamayo, *El Proceso de la Investigación Científica*, p. 157.

Se concibe al proceso de diseño como un conjunto de etapas metodológicas que permiten concebir y obtener un objeto. En el caso de la arquitectura, su proceso de diseño nos debe permitir obtener espacios habitables delimitados por espacios construidos. Todo proceso de diseño tiene como mínimo tres etapas fundamentales conocidas: El Análisis, la Síntesis y la Evaluación⁴³. Durante este proceso, ninguna de las etapas es independiente y todas son simultáneas y convergentes entre sí.

El Análisis⁴⁴ es el acto de definir los límites de la situación de diseño, el cual permite obtener un espacio de investigación adecuado para la búsqueda de una solución. La Síntesis⁴⁵ es la etapa de desarrollo del modelo de diseño, donde la creatividad del diseñador, apoyada en la autocrítica, combina los juicios de valor y técnicos para reflejar sobre la situación de diseño el contexto político, económico y operacional. Por último, la Evaluación⁴⁶ es la etapa posterior a la definición del problema, a la identificación de variables y la determinación de objetivos. Mediante la reducción progresiva de incertidumbres, se llega a una solución final e ideal.

En resumen, y para los efectos del presente trabajo e inscrito en el sentido metodológico, *bajo los enfoques prospectivo y científico*, la Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos significa, basados en un modelo descrito, efectuar mediciones y ordenamientos de sus propiedades, analizar la estructura, las variables y las reacciones de éste, **para poder emitir un juicio de verdad**, basado en la confrontación de los resultados con la Hipótesis General planteada y los objetivos que deben perseguir estos nuevos sistemas y materiales. En otras palabras, la Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos debe ser operacional, porque debe ser posible su confrontación directa o indirecta con la realidad.

⁴³ Christopher Jones los llama Divergencia, Transformación y Convergencia. *Op. Cit.*, pp. 53-64.

⁴⁴ El Análisis implica la ponderación de la estabilidad o inestabilidad del contexto conectado con el problema, buscando definir jerarquías y referencias, siendo susceptible de cambios. El Análisis funciona como un destructor del orden inicial que simultáneamente identifica las propiedades de la situación de diseño y verifica y define lo valioso y lo factible.

⁴⁵ La Síntesis es una etapa donde se crea un modelo de carácter general, que provisionalmente se considera adecuado pero sin la comprobación. *Para llegar a una solución óptima es necesario tener previamente una investigación óptima*. La síntesis requiere de la creación de un modelo que tiene como objetivo la transformación de un problema complejo en uno sencillo pero representativo.

⁴⁶ La Evaluación del Proceso de Diseño tiene ciertas características:

1. Mediante el producto de la investigación detallada, define la jerarquía y orden de las decisiones.
2. Detalla y particulariza al modelo de diseño, utilizando modelos matemáticos y analogías abstractas.
3. Reduce las alternativas posibles mediante la descripción racional y su calificación.

Lo anterior es la estructura típica de un proceso de diseño general, pero si analizámoslo detenidamente el método de evaluación propuesto en la Introducción, podremos particularizar entonces lo que para el caso de los nuevos materiales y sistemas constructivos significa una evaluación.

Es el objetivo general de éste trabajo aplicar e instrumentar esta evaluación.

1.5 Definición de Evolución.

Conocer lo que significa un Material de Construcción, un Sistema Constructivo y lo que es un Método de Evaluación permite cumplir con algunos de los objetivos trazados. Pero bajo el enfoque prospectivo, una evaluación objetiva de nuevos materiales y sistemas constructivos es imposible si no se parte de la definición de posibles escenarios futuros deseables a partir de los cuales se reflexione e instrumente.

Recordemos que existe una diferencia fundamental entre los Métodos Retrospectivos y Prospectivos⁴⁷, la cual consiste en la forma de diseñar a partir de los hechos o antecedentes existentes.

En la retrospectiva o proferencia, los antecedentes históricos sirven para generar proyecciones que nos llevan a un único futuro posible. En la prospectiva, los antecedentes históricos sirven de base para la identificación de la realidad presente, permitiendo con ello concebir los caminos necesarios para llegar a los escenarios futuros.

Tanto en la retrospectiva como en la prospectiva es necesario conocer el comportamiento histórico de lo estudiado. En el caso de la Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos, es necesario conocer previamente la evolución de éstos para poder predecir su futuro.

Bajo el enfoque prospectivo, conocer la evolución de los materiales y sistemas constructivos permite conocer los nuevos caminos que pueden tomar los descubrimientos y aplicaciones de la Investigación de Materiales en el futuro de la arquitectura.

Es por ello importante que definamos qué es evolución y sobre todo qué entendemos por evolución de materiales y sistemas constructivos.

En el sentido más elemental, la evolución⁴⁸ es una serie de estados sucesivos de una transformación. Se le

utiliza para definir el desarrollo de los objetos y los organismos, cuando éstos pasan gradualmente de un estado a otro.

Desde el punto de vista filosófico, la evolución es una hipótesis que pretende explicar todos los fenómenos mediante transformaciones sucesivas de una sola realidad inicial, sometida a un perpetuo movimiento intrínseco, por el cual pasa de lo simple y homogéneo a lo compuesto y heterogéneo. La evolución implica como idea fundamental la transformación y la continuidad de las formas en el universo.

Como comprobaremos más adelante, *los materiales y sistemas constructivos han evolucionado a lo largo de la historia de la humanidad. De lo anterior podemos desprender un postulado que manejaremos como otra Hipótesis Particular adicional del Trabajo de Investigación, la cual articula y complementa a la Hipótesis General presentada inicialmente:*

Hablar de la Evolución de Materiales y Sistemas Constructivos significa aceptar la transformación y la continuidad de éstos en la historia de la arquitectura.

La evolución trata de explicar los cambios como también predecir los posibles escenarios. En esto, el evolucionismo está más cerca del Método Prospectivo, que una simple descripción histórica.

Observar a la arquitectura desde el enfoque evolucionista, permite entender el estado actual de los materiales y sistemas constructivos, así como definir y conocer los nuevos materiales y sistemas por aparecer.

Es objetivo particular de este trabajo de investigación, definir la importancia de los nuevos materiales y sistemas constructivos, tarea que resulta imposible si no se parte de un análisis evolucionista de los antecedentes históricos, para describir futuros constructivos deseables coherentes con nuestra realidad cronotópica.

coherente, definido y heterogéneo, lo que significa una diferenciación e integración de los elementos en estructuras cada vez mayores y más complejas.

⁴⁷ Agustín Merello, *Prospectiva: Teoría y Práctica*, pp. 11-33.

⁴⁸ El pensamiento evolucionista surgió desde la antigua Grecia con las obras de pensadores tales como Anaximandro de Mileto y Empédocles de Agriento. En el renacimiento, se redescubren sus ideas, y en el siglo XVIII, pensadores como Buffon, Maupertuis, Robinet, Maillet y Erasmus Darwin, el abuelo de Charles Darwin, sentaron las bases del discurso evolucionista. Fue Lamarck el primero en formular una teoría evolutiva en los seres vivos, pero el trabajo definitivo y más influyente sobre el pensamiento evolucionista fue hecho por Charles Darwin. El Evolucionismo actual se convierte en una doctrina, cuando en el pensamiento moderno, se llega a la noción de la materia como algo extenso y dotado de masa. El Barón de Holbach define a la evolución como una progresión ininterrumpida, una cadena perpetua de combinaciones y de agrupamientos, de donde viene a resultar que los seres y objetos sólo difieren entre sí por la diversidad de materias elementales y por la proporción de su presencia. Es con Herbert Spencer que se define a la evolución como un paso incesante de un estado incoherente, indefinido y homogéneo a un estado

Capítulo II

Evolución de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos

... "Una gran época acaba de comenzar. Existe un espíritu nuevo. Existe una multitud de obras de espíritu nuevo que se encuentran, especialmente en la producción industrial. La arquitectura se ahoga en las costumbres. Los "estilos" son una mentira... Nuestra época fija cada día su estilo. Nuestros ojos, desgraciadamente, no saben discernirlo aún"...

Le Corbusier, Hacia una Arquitectura, Ojos que no ven..., 1920.

En la *primera parte* de este segundo capítulo se intenta analizar, bajo un enfoque evolucionista y crítico, la historia de los materiales y sistemas constructivos. El análisis se centra en la evidencia evolutiva de los sistemas constructivos y la permanencia comprobada de la mayoría de los materiales de construcción durante los últimos 5000 años. Se divide el análisis inicialmente en el estudio de aquellos materiales y sistemas que fueron utilizados desde la antigüedad hasta la Revolución Industrial, luego en aquellos que se utilizaron desde ese momento hasta el comienzo del Siglo XX, y por último en aquellos que pertenecen a nuestra centuria y que podemos llamar *Contemporáneos*. Aquí se subrayan dos tendencias principales: los materiales y sistemas desarrollados por la nueva ciencia llamada *Investigación de Materiales*, como lo son los materiales compuestos y los plásticos, y los que han sido utilizados por la *arquitectura vernácula*.

En la *segunda parte* de capítulo se muestra la evidencia existente de los **Nuevos Materiales de Construcción**, objeto de estudio de este trabajo de investigación, que están siendo desarrollados para ser

utilizados en el Siglo XXI. Destacan los **Materiales Nanoestructurados** de asombrosas propiedades, el diseño de **Materiales Biomiméticos**, y la interesante y novedosa forma de producción masiva de materiales que está siendo lograda a través de herramientas de **ingeniería genética**. En esta parte se hace énfasis en lo que la arquitectura puede encontrar en la **Ingeniería Molecular**, también conocida como **Nanotecnología**, bajo un enfoque prospectivo, además de analizar detalladamente el papel del arquitecto en el futuro de la humanidad.

2.1 Los Materiales y Sistemas Constructivos de la Antigüedad y Contemporáneos.

El material constructivo ha estado presente en la historia de la humanidad. Los sistemas constructivos son evidentes en un sin número de edificaciones históricas en todo el mundo. Algunas de ellos sumamente antiguos, otros extremadamente ingeniosos. No sucede lo mismo con las soluciones prefabricadas e industrializadas, que son producto del análisis reciente desarrollado en los últimos dos siglos. ¿Cómo eran construidas éstas edificaciones? ¿Qué

materiales usaban? ¿Cuándo aparecieron nuevos materiales? ¿Qué cambios sugirieron los nuevos materiales en la arquitectura? Las respuestas las podemos encontrar en el análisis de diversas circunstancias acontecidas en la historia de la arquitectura, y que son evidentes, sólo después de la revisión de los antecedentes históricos documentados encontrados en el desarrollo de ésta investigación.

El análisis de antecedentes históricos de materiales constructivos revisados de forma documental, permite elaborar una serie de consideraciones sobre la evolución de los materiales en la arquitectura del mundo, y su influencia en los sistemas constructivos. Éstos se pueden analizar desde cuatro puntos de vista o etapas muy importantes: Los materiales y sistemas constructivos antes de la Revolución Industrial, los materiales y sistemas constructivos después de la Revolución Industrial, los materiales y sistemas constructivos en el Siglo XX, y los materiales y sistemas constructivos en México, desde el punto de vista de la Arquitectura Vernácula.

2.1.1 Los Materiales y Sistemas Constructivos Antes de la Revolución Industrial.

En Egipto⁴⁹, hace 5,200 años, floreció una de las primeras civilizaciones de la humanidad. Su posición geográfica, religión, comercio, agricultura, industria y sociedad fueron pilares elementales en la concepción de su arquitectura. Sin embargo, su geología y el dominio de diversas técnicas artesanales, determinaron la forma y el espacio de sus edificios. Los materiales como la madera, el ladrillo, la arcilla, y la piedra marcaron el carácter definitivo de su arquitectura. En Egipto, la piedra es abundante en grandes cantidades y variedades, y no solo fue usada en edificios, sino en otras artes. El granito rojo y gris, la cuarcita⁵⁰, el basalto, la dolerita⁵¹, la piedra caliza y la piedra laja fueron los materiales básicos constructivos. En Egipto escaseaban los metales, que como el cobre, eran traídos de la península del Sinaí. El estaño era importado para fabricar bronce. El hierro era extremadamente raro y sólo se podía obtener de rocas al aire libre de orígenes meteoríticos. Los materiales a su alcance y el diseño de métodos sofisticados de corte⁵², acarreo, transportación y elevación de grandes bloques de piedra, permitieron en su arquitectura la característica escala y majestuosidad.

La cultura griega tenía acceso, a través de su comercio e influencia cultural en el Mediterráneo, a un amplio surtido de materiales de la región. Pero el material de más

importancia en su arquitectura fue el mármol, que escrupulosamente seleccionado de acuerdo con su blancura, veta y grano, prevaleció sobre cualquier otro material posible. Era tal la obsesión por el mármol blanco, que aún existen algunos ejemplos de construcciones griegas edificadas con muros burdos de piedra laja, recubierta de una capa de estuco⁵³ de mármol para simular el efecto del material original. Su mármol era extraído de las cercanías de Atenas y en las islas de Paros y Naxos, el cual normalmente transportaban por mar. El dominio del arte del labrado de piedra, las matemáticas aplicadas y la docilidad del mármol permitieron la exactitud y el refinamiento de cada detalle formal.

Fecha.	Protagonista.	Lugar.	Materiales Constructivos Usados o Aportados.
3200 A.C.	Cultura Egipcia.	Africa del Norte.	Madera, ladrillo, arcilla, granito, basalto, caliza, laja, cobre, estaño, bronce, vidrio, pintura vegetal.
1400 A.C.	Cultura Griega.	Europa Central.	Mármol, estuco, laja, basalto, hierro.
300 A.C.	Cultura Romana.	Europa, África, Asia.	Ladrillo, terracota, mortero, concreto, vidrio, hierro.
400 D.C.	Cultura Nórdica.	Europa.	Madera, hierro, tierra como aislante térmico.
600 D.C.	Cultura Islámica.	Asia.	Celosía de barro, mortero, ladrillo, mármol.
1100 D.C.	Cultura Anasazi.	EE.UU.	Piedra basáltica, madera, tierra como aislante térmico.
1440 D.C.	Cultura Azteca.	México.	Adobe, Piedra, madera.
1350 D.C.	Gótico.	Europa.	Cristal, cantera, madera.
1760 D.C.	Revolución Industrial.	Inglaterra.	Hierro colado, acero estructural.
1890 D.C.	Cultura Occidental.	EE.UU. Europa.	Petróleo, hule, nitrato de celulosa.
1906 D.C.	Leo Hendrik Baekeland.	Europa.	El primer plástico sintético llamado baquelita.
1913 D.C.	Ingeniería Civil.	Europa.	Concreto Armado Aplicado a la Arquitectura.
1947 D.C.	Laboratorios Bell AT&T	EE.UU.	Semiconductores de silicio.
1949 D.C.	Cultura Occidental.	Mundial.	Plásticos Uretanos, Estirenos, polivinilos, etilenos, y acrílicos.
1970 D.C.	Cultura Berebere.	Matmata, Túnez.	Piedra, mortero, madera.
Siglo XX.	Cultura Indígena Mexicana, Arquitectura Vernácula.	Michoacán, Veracruz, Tabasco.	Adobe, carrizo, bambú, palma, hoja de plátano, zacate, quiole, rastrojo, sotol, tejamanil, otate, junquillo, bejuco.

Tabla 1. Antecedentes constructivos históricos analizados en forma documental, mostrando los materiales de construcción usados en cada caso.

En el caso de la arquitectura griega, se puede hablar fundamentalmente del género de templos⁵⁴. Esta aseveración se fundamenta en la observación de algunos de que actualmente sólo permanecen en su mayoría restos de estos edificios, señalando la ausencia de géneros tales como vivienda o administrativos. Se debe considerar si esta

⁴⁹ Apéndice I: Cronograma y Fichas Analíticas de la Evolución Histórica de los Materiales y Sistemas Constructivos Comunes en la Arquitectura, Arquitectura Egipcia.

⁵⁰ Roca sílicea muy dura constituida principalmente por cuarzo.

⁵¹ Roca verdosa con pintas de textura similar a la piel de serpiente. Totalmente diferente al jade.

⁵² El corte inicial y barrenado de grandes bloques de piedra se efectuaba con herramientas de cobre. La separación final del bloque se lograba clavando cuñas de madera seca que se hinchaban al mojarse con el agua.

⁵³ El estuco es una mezcla de cal, yeso, polvo de mármol y agua.

⁵⁴ Apéndice I: Cronograma y Fichas Analíticas de la Evolución Histórica de los Materiales y Sistemas Constructivos Comunes en la Arquitectura, Arquitectura Griega.

situación es debida a una ausencia de importancia mostrada por los antiguos griegos a la construcción de estos géneros, o si en el devenir de la historia, la destrucción en particular de estas ruinas ha sido sistemática para evitar rastros.

La respuesta más obvia parece ser que los edificios griegos de este género no han sobrevivido hasta nuestros días por las características constructivas que ellos poseían. Todos estos edificios fueron construidos con materiales no durables, degradables, y en cierto momento poco resistentes, lo que a lo largo de los años, ha causado que sólo existan rastros de su cimentación.

Esto puede significar, más que una falta de interés de los griegos a otros géneros, un reflejo de la realidad cronotópica de la cultura griega. Podría ser que, económicamente hablando, los griegos enfocaron sus recursos a la construcción de ciertos géneros de edificios que les eran más importantes de acuerdo a su economía, cultura y religión politeísta. Por ésta razón, otros géneros secundarios eran construidos con materiales efímeros. En otras palabras, sus esfuerzos se enfocaban a los templos, estadios, anfiteatros, etc.

Es importante observar que en cierto modo el sistema constructivo tradicional de los griegos, que fue aplicado a los templos, evolucionó de sistemas donde se utilizaron materiales más rústicos. En la Arquitectura griega los primeros templos fueron construidos con peristilos de madera con cubiertas de vigas y muros de piedra burda. Los templos de la era helénica fueron construidos con aparejos y sillares de mármoles, tratando de mimetizar⁵⁵ el acomodo que habían logrado. Las columnas de madera fueron cambiadas por columnas de mármoles, las gualdras⁵⁶ que recibían a las vigas del techo, fueron sustituidas por la arquitrabe. El material cambió, pero la forma y función permanecieron. Como decía Sir John Summerson, en su libro *El Lenguaje Clásico de la Arquitectura*⁵⁷:

...“Los primeros templos del mundo antiguo eran de madera. Gradualmente, algunos fueron reconstruidos en piedra (indudablemente aquellos especialmente venerados y que atraían mayores riquezas). Sería, pues, un imperativo preservar en la versión más permanente de la piedra las formas que con tanta veneración habían despertado. De ahí que se copiaran en piedra o mármol los procedimientos de los carpinteros del entablamento de madera, aunque claro está, algo estilizados”....

⁵⁵ Imitación de lo anteriormente construido, realizándose una reproducción fiel del acomodo original.

⁵⁶ Viga de madera cuya sección es casi cuadrada y excede en sus lados de 20 cm.

⁵⁷ Sir John Summerson, Op. Cit., pp. 23-35.

Castro Villalba⁵⁸ asegura que ciertos procedimientos griegos se han seguido aplicando durante más de dos mil quinientos años. Si se observa una casa ateniense de la época y se le compara con una vivienda típica actual, algunas veces vernácula, ubicada en tantos poblados en nuestro país, encontraremos que no sólo los procedimientos mencionados han perdurado, sino que la forma arquitectónica de estos edificios se ha mantenido hasta nuestros días.

El autor mencionado maneja que existe una clara influencia egipcia en el tratamiento de la piedra y algunos procesos constructivos. Pero menciona la diferencia de la intención espacial en función de su escala y objetivo.

Si bien pudo existir esta influencia, creo que las soluciones constructivas se pudieron descubrir en distintas épocas y lugares de forma independiente sin la más mínima comunicación. Como ejemplo pongo el Tesoro de Atreo: que en su entrada se encuentra una bóveda que posteriormente fue realizada también por los mayas en el continente americano: la conocemos como arco maya. La utilización de la columna puede ser claramente otro ejemplo.

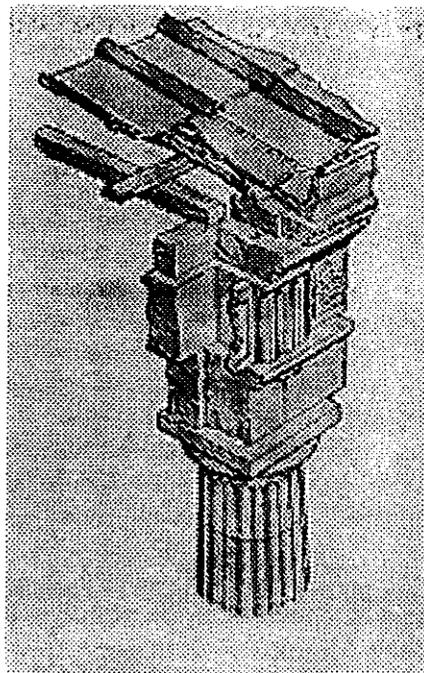


Ilustración 1. Detalle constructivo de la misma cubierta con el acomodo y diseño de las tejas que menciona. La forma de estas tejas es fundamental en la protección contra el agua.

En mi opinión, el manejo tecnológico más importante descubierto por los griegos es la armadura de madera para conformar sus techumbres. En la foto mostrada de las Atarazanas del Pireo, se enseñan armaduras con vigas y

⁵⁸ Antonio Castro Villalba, Historia de la Construcción Arquitectónica. Se ha recurrido a este autor, como punto de partida, para hacer el análisis crítico de la Evolución de Materiales y Sistemas Constructivos en la historia de la arquitectura, porque su libro posee un enfoque interesante y específico sobre los materiales y técnicas de construcción. Es un libro de investigación histórica sobre la tecnología constructiva.

gualdras de madera, que si bien son primitivas, muestran una clara intención y conocimiento empírico de las fuerzas.

En segundo lugar, pero no menos importante, se encuentra el diseño de las tejas o baldosas colocadas en las cubiertas de los templos. Estas tejas estaban diseñadas para evitar la penetración del agua. No se debe olvidar que las cubiertas tienen una inclinación que ayuda al desalojo adecuado, pero sin la solución mostrada, la lluvia hubiese penetrado. El manejo de grapas de metal entre sillares, trabes y cubiertas también es comparable en importancia.

La experimentación de métodos constructivos, la minería y la explotación de materiales de construcción identificaron a la arquitectura romana⁵⁹. Aunque primeramente construyeron a la manera etrusca, consistente en bloques de piedra bien cortados, la necesidad de expansión de su imperio requirió en breve de inventos prácticos para la construcción. Los romanos desarrollaron el ladrillo y la terracota⁶⁰ que utilizaron en todos sus edificios. Inicialmente irregulares o rectangulares, después triangulares, los ladrillos eran fabricados en parcelas especiales que fueron seleccionadas por la calidad de su arcilla. Sin embargo, el material constructivo desarrollado más ingenioso fue el concreto, el cual fabricaron con pedacería de piedra y ladrillo mezclada con un mortero hecho con arena volcánica⁶¹ y cal. El concreto era vertido en cimbras de madera o dentro de aparejos forjados de piedra o ladrillo. El aplanado definitivo de estuco hizo su aparición recubriendo las caras de los muros.

Es claro, y lo es en todos los autores consultados, en el caso del Periodo Romano, que la necesidad de expandir el Imperio a los confines del mundo conocido de la época, obligó a los constructores romanos a aprovechar cada uno de los mejores sistemas constructivos que existían para construir los géneros que necesitaron edificar para representar su cultura y organización social. También es claro que esta necesidad hizo que los romanos descubrieran ciertos procesos constructivos útiles en el levantamiento de muros, así como la invención de variedades ilimitadas de estucos, morteros y argamasas para unir los materiales.

Creo que lo más importante de este Periodo es la creación de estos morteros, mediante el uso del polvo puzolánico. Este manejo dio como resultado la invención y uso del concreto simple, fundamental en los colados de cimentaciones y rellenos de muros de la época.

Pero también fue importante fabricar y modular en todo el Imperio Romano los ladrillos de barro. Esto fue el primer intento serio de normalización, sistematización e

industrialización que se realizó en el mundo. Los mismos ladrillos, en cualquier parte del Imperio, requirieron como norma legal la datación de su fabricación escrita en una de sus caras, cual si fuera un código de barras actual.

Castro Villalba⁶² califica de “potentes sistemas constructivos” los procedimientos derivados de los descubrimientos mencionados porque es obvio que sin ellos, jamás se hubiera construido tan rápido y tan profusamente como sucedió en el Periodo. En ello estoy de acuerdo.

En lo que no estoy de acuerdo es en que el mismo autor maneja que los romanos sólo copian todo lo que se consideraba útil de cualquier cultura y lo adaptaban a conveniencia mejorando su utilización. Inclusive pone entre comillas “inventar” para reafirmar su comentario. Esta aseveración le resta crédito a la creatividad indudable de los constructores romanos. Este autor va aún más lejos y dice que los romanos copiarán los edificios de otras culturas sin que les preocupe la calidad artística del soporte.

Ésto es una contradicción, puesto que afirmando lo anterior se deja a los romanos negados a la aportación de nuevos e interesantes géneros de edificios que se construyeron, y además, también se les niega la invención fantástica de los *Opus caementicium, emplectum, incertum, mixtum, spicatum, reticulatum* y *testaceum*⁶³ que dominarían hasta nuestros días como formas constructivas de muros y aparejos. Aunque algunos autores no lo expresen claramente, los Romanos fueron sumamente Creativos.

Y si existe alguna duda de lo anterior, basta con analizar el acasetonamiento de la cúpula del Panteón diseñado por Agripa, u observar la calidad de aplacados de Mármol en el piso del mismo edificio. Se puede entonces también revisar la forma en que el piso de la plaza del Coliseo Romano es en realidad la cubierta resistente de los pozos, bodegas, celdas y pasillos que los gladiadores romanos utilizaban abajo en la preparación de los espectáculos. Las soluciones creativas afloraban de acuerdo con las necesidades apremiantes y al indudable ingenio romano.

El Ingenio Romano apareció cuando se necesitó abastecer de agua a todos los pobladores (se crearon los acueductos). El ingenio apareció nuevamente cuando se pavimentaban los caminos que comunicaban a los poblados (Vías Romanas). El ingenio prevaleció cuando los romanos diseñaron grandes barcos con los que dominaron el Mediterráneo.

Otro punto importante es que no es posible conocer o afirmar que los romanos no tenían normas de construcción claramente definidas o medibles para soluciones constructivas en muros, cimientos y soportes. Sólo se conoce de Vitrubio el “cavarás hasta lo sólido y macizo” como débil evidencia de normalización en la cimentación.

⁵⁹ Apéndice I: Cronograma y Fichas Analíticas de la Evolución Histórica de los Materiales y Sistemas Constructivos Comunes en la Arquitectura, Arquitectura Romana.

⁶⁰ La terracota es arcilla o barro cocido o quemado en moldes para uso en la construcción y la decoración.

⁶¹ Esta arena se llamaba *pozzolana* y se podía obtener en las cercanías de Roma y Nápoles.

⁶² Castro Villalba, *Op. Cit.*, Capítulo III.

⁶³ Ver Glosario.

Creo que, dada la evidencia constructiva disponible, es posible pensar que los romanos tendrían un “Reglamento de Construcciones” del cual lamentablemente sólo ha sobrevivido el trabajo de Vitrubio. Esta afirmación la hago a sabiendas de que la Biblioteca de Alejandría fue quemada y ultrajada con la caída del Imperio Romano (circa 390 D.C.), perdiéndose irreparablemente miles de obras y manuscritos que eran protegidos y guardados allí.

Cuántos reglamentos, cuántos poemas, cuántos tratados clásicos griegos y romanos se perdieron y no tenemos la más mínima noticia de su existencia. Nunca sabremos lo que en realidad perdimos. Nunca sabremos lo que en realidad sabían los antiguos. Esta lamentable y brutal acción nos hundió en el profundo y conocido oscurantismo de la Edad Media. Trece largos siglos de ignorancia y superstición.

Es por lo anterior, que “los sistemas de trabajo manual (romanos) han llegado hasta hoy apenas sin variación”.

Los Romanos tenían técnicas, y me atrevo a decir que poseían tecnología (véase el sentido que se les da a estos términos en el glosario anexo). Sin suponerlo así, no se puede entonces comprender las eficaces, funcionales y majestuosas “nivelaciones kilométricas necesarias en los larguísimos acueductos, con pendientes inferiores al 1 por 1,000 ... a través de topografías muy accidentadas, llegando con la cota precisa a los depósitos de abastecimiento de las ciudades” como menciona Castro Villalba.

Castro Villalba⁶⁴ define que mediante el rompimiento del Imperio Romano en el Siglo IV, “hay un momento en el que, por múltiples razones, resumidas en lo que podríamos definir como imperativos de la historia (*sic*), desaparecen los modos romanos de construir, entendidos como algo global y no sólo como una técnica” lo que además ejemplifica diciendo “hay un momento en el que no es posible construir el Acueducto de Segovia o el tramo de la Vía Tarraconensis”. Creo que el autor interpreta al Paleocristiano⁶⁵ incorrectamente, y aún más a la trascendencia y uso de los procedimientos constructivos romanos.

Si bien la influencia global que tiene el cristianismo, en la concepción e importancia de templos dedicados a éste, es fundamental en la reducción de géneros de edificios importantes construidos, no se puede decir que exista una desaparición de los modos romanos de construir en el Paleocristiano, ni parcial o globalmente, y mucho menos como una técnica consolidada.

Se debe recordar que es el movimiento Paleocristiano un periodo de la historia de la arquitectura que nace dentro de los últimos momentos del imperio romano. Es el Paleocristiano y sus primeros edificios basilicales un

producto de la adaptación y simplificación de los géneros y sistemas constructivos romanos. Es el Paleocristiano una simbiosis de formas nuevas y antiguas espaciales derivadas de la transición entre el politeísmo tradicional y el monoteísmo oficialmente aceptado.

En ningún momento se puede ignorar que se siguió trabajando con géneros menores, como la vivienda y la construcción de caminos, tal vez no con la elegancia de los órdenes clásicos, pero sí con una adecuación sencilla de las técnicas romanas existentes a las nuevas ideologías. La arquitectura vernácula que conocemos hoy en día es evidencia de esto.

Sí, es cierto: *Las necesidades de la época* influyen definitivamente en las soluciones constructivas y en la importancia de los géneros a construir, pero nunca se podría generalizar que una tecnología constructiva tan claramente definida puede desaparecer del todo y además eliminar la factibilidad de construcción de acueductos y vías como si las necesidades de la población y estas técnicas constructivas se borrarán misteriosamente de la mente de todos y cada uno de los pobladores del mundo antiguo *in actu*. Esto es realmente muy aventurado y falto de apoyo.

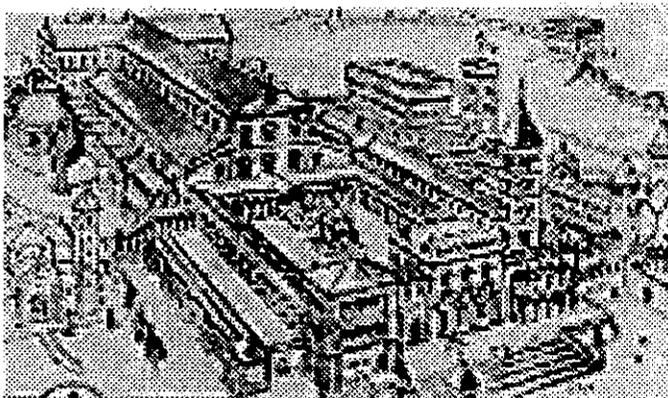


Ilustración 2. Reconstrucción de la Primera Basílica de San Pedro en Roma. El edificio permaneció como el centro del cristianismo hasta su demolición y reconstrucción de acuerdo a los proyectos renacentistas.

Se debe comprender que si no se construyeron más acueductos, sí se encontraron nuevas formas de trasladar o abastecer el agua y mantener en funcionamiento las obras existentes durante los siglos posteriores: *La necesidad existía y se tenía que satisfacer.*

Creo que si analizamos, por ejemplo, la técnica constructiva de una Basílica Paleocristiana, no sólo encontraremos la presencia de los “modos romanos”, sino que veremos una *evolución* interesante hacia nuevas concepciones constructivas que llegarán afortunadamente hasta nuestro siglo.

Un ejemplo de ésta afirmación es el uso del *Opus Mixtum* con espesores menores para aprovechar el material de demolición al máximo para construir con menos, más y

⁶⁴ Castro Villalba, *Op. Cit.*, Capítulo IV.

⁶⁵ Apéndice 1: Cronograma y Fichas Analíticas de la Evolución Histórica de los Materiales y Sistemas Constructivos Comunes en la Arquitectura, Arquitectura Paleocristiana.

mejor. Otro ejemplo es la integración de las bóvedas de cañón corrido en los deambulatorios, utilizados ya en el Periodo Romano, pero esta vez sin relleno superior, convirtiéndose curiosamente en *los primeros falsos plafones de la historia*, al generar con ésto una doble cubierta: *Sobre la bóveda se coloca una cubierta de madera con tejas.*

Un ejemplo todavía más importante es el uso de arcadas romanas con columnas de distintos órdenes a lo largo de las naves basilicales, colocadas como en tantos atrios romanos anteriores. *La técnica romana está claramente presente en el Periodo Paleocristiano.*

Creo que, a pesar de que se afirma generalmente que el periodo no aportó técnicas constructivas, el legado del momento histórico está precisamente en la transformación y simplificación de los sistemas constructivos romanos para edificar géneros tan variados de forma rápida, eficaz y económica.

Su legado no es simplemente formal o espacial (o litúrgico como dice Castro Villalba), sino que presenciamos una *evolución profunda* en la simplificación de elementos constructivos y formas, solamente comparable, guardando ciertas reservas, a la sucedida entre el Neoclásico y la Arquitectura del Siglo XX.

Es esta simplificación la que permitió la profusión de iglesias, monasterios y basílicas a lo largo del mundo antiguo sin la necesidad de la fuerza económica y la voluntad política del Imperio Romano recientemente extinguido. *La fe sola no hubiese podido construir las.*

Mientras el Paleocristiano surgía con la clara simplificación de los procedimientos constructivos heredados del Periodo Romano, el Periodo Bizantino⁶⁶ nace continuando detalladamente los métodos romanos con la misma pesantez y espesor en muros y cúpulas. Inclusive, en el Bizantino, se opta en general por seguir rellenando el espacio superior a las bóvedas con argamasa de ripio, costumbre que como vimos en el Paleocristiano se elimina.

Castro Villalba menciona que "la tradición constructiva romana que utiliza de forma exhaustiva las bóvedas, arcos y cúpulas en la solución de los problemas estructurales, y por otro, la milenaria costumbre de los pueblos próximo orientales para trabajar esos elementos con la parquedad (*sic*) de medios y materiales que proporciona la extensa área geográfica en la que se desarrollan" son el soporte de esta arquitectura.

Creo que la simbiosis⁶⁷ de las arquitecturas egipcia, sasánida, asiria y caldea, además de las derivadas del mundo árabe del momento, enriquece definitivamente el repertorio

de elementos constructivos que el Bizantino proporciona al Periodo.

El legado definitivo de la época es buscar edificar tanto bóvedas y cúpulas sin la construcción de cimbras o andamiajes especiales. En general todas las bóvedas buscaron ser construidas con aparejos que ingeniosamente se autoportaran durante su proceso constructivo. En aquellos casos donde ésto no fuera posible, la cimbra de madera era sustituida por rellenos provisionales de ripios, dando formas temporales para cimbra.

En el caso de las cúpulas, la solución más famosa es el uso de anforillas interconectadas en espiral y repelladas en ambas caras por morteros que le dan el acabado. Esta solución de origen árabe se repite constantemente en el Periodo Islámico, Mozárabe y Mudejar. Por otro lado, tanto constructivamente como formalmente, el Periodo Bizantino, en la búsqueda de generar cúpulas más altas o a partir de bases poligonales regulares, genera o aporta a la arquitectura el uso de las pechinas y las trompas.

Recordemos que el uso de las trompas en cierta forma aparecen ya en la Arquitectura Romana, pero las pechinas, con su singular superficie curva, es producto del trazo o intersección de un semidomo mayor con otro menor donde tienen como cruce dos bóvedas de cañón corrido (crucería).

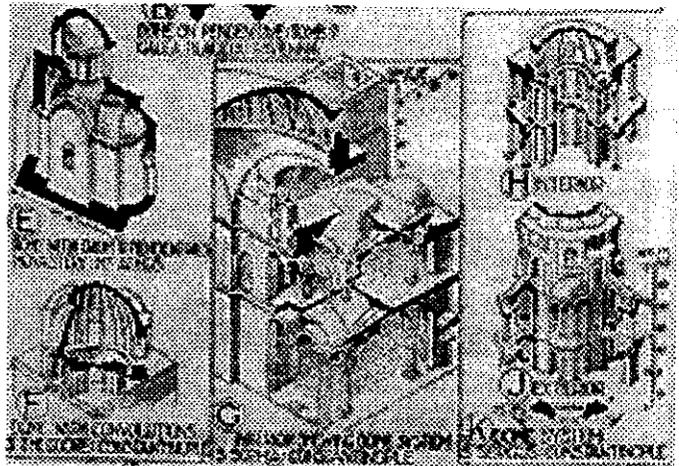


Ilustración 3. Cortes de las cúpulas de Santa Sofía en Constantinopla donde se observan la escala y las bóvedas apechinadas y lobuladas.

En Santa Sofía de Constantinopla se logra un gran manejo de este tipo de cúpulas apechinadas, generando mediante superposiciones de otras cúpulas menores y semicúpulas, la conformación de un espacio sumamente amplio e imponente. La base de la cúpula central tiene una altura de más de 40 metros en el interior sobre el nivel del piso terminado. Además se logra manejar una cúpula lobulada con lunetos⁶⁸ arqueados en su base.

⁶⁶ Apéndice I: Cronograma y Fichas Analíticas de la Evolución Histórica de los Materiales y Sistemas Constructivos Comunes en la Arquitectura, Arquitectura Bizantina.

⁶⁷ Asociación cooperativa e interdependiente, que se interpreta como fusión, significando una influencia mutua de ambas arquitecturas.

⁶⁸ Hueco de una bóveda o cúpula formando penetración de otra bóveda más pequeña, generalmente de cañón y que suele servir para la iluminación.

Creo importante mencionar que los caminos que toma la historia de la arquitectura a partir del bizantino son distintos a los del paleocristiano. *El Románico nace fundamentalmente de la evolución lineal del Periodo Paleocristiano*, mientras que la *Arquitectura Bizantina sufre un mimetismo y fusión paulatina con la Arquitectura Islámica, Mozárabe⁶⁹ y Mudejar⁷⁰*. Las formas y ornamentaciones que definen estas arquitecturas son la evidencia de esta conclusión personal.

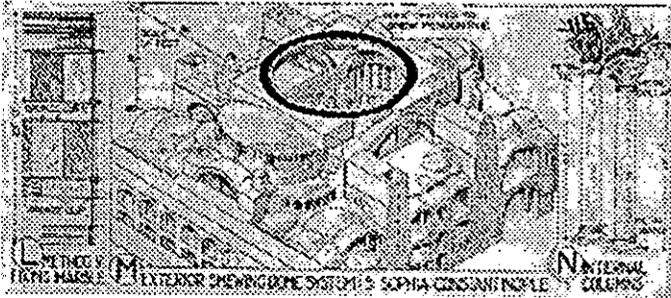


Ilustración 4. Otro corte donde se aprecia la escala de la Cúpula central de Santa Sofía.

El periodo de la Arquitectura Posromana⁷¹, conocido oficialmente como el **Románico Ibérico**, es el semillero de nuestra arquitectura mexicana. Como acertadamente menciona Fernando Chueca Goitia, es en la combinación de las tendencias asturianas, visigodas, mozárabes y mudéjares, donde nacen los conceptos invariantes castizos de la arquitectura española y latinoamericana.

Como legado de la época, Fernando Chueca Goitia⁷² maneja varios puntos fundamentales que considera los patrones invariantes de nuestra arquitectura:

1. Espacio Cuántico, discontinuo, tanto en su recorrido como en su percepción: Las columnas funcionan como un filtro visual que produce un salto visual y espacial:

... en el arte asturiano, prolonga en esto una tradición que nos aporta las primeras pantallas de columnas, como sucede en Santa María de Naranco y el iconostasis de Santa Cristina de Lena... La tradición visigoda y el genio propio de los artistas españoles han dado al arte hispanomorisco sus caracteres verdaderamente particulares...

2. El espacio compartimentado, jerárquico, cueviforme en las dimensiones de planta y alzados:
... Desde los albores de la arquitectura española nos encontramos con pequeñas iglesias visigóticas, donde este sentimiento del espacio fragmentado aparece claramente expresado...

3. Composiciones trabadas y asimétricas de directriz o axialidad quebrada.
4. Sinceridad en los volúmenes, intención de cubicidad, estricta planitud, volúmenes de arista viva, sin curvas, sin cúpulas, manejando Hitos como torres.
5. Dintel, arco y aliz en las puertas y ventanas creando una redundancia funcional de carente lógica tectónica.
6. Decoración suspendida, en las zonas altas de los muros, con guardapolvos lisos y fustes lisos, creando sensación de calma y reposo, manteniendo la proporción cuadrada.

... La decoración de la arquitectura mozárabe es de una parquedad tal que se reduce a los aleros de modillones⁷³, a los capiteles, a alguna faja decorativa, a las más simples molduras en nacelas y algún que otro pretil decorado en los iconostasis⁷⁴. Sus esquemas son cordobeses y repiten el tema de arco y aliz, exaltando la cuadratura...

... Las decoraciones moriscas y mudéjares obedecen en todo al sistema decorativo hispanomusulmán; son decoraciones planistas, donde el ornato se encuadra en una rígida disciplina geométrica bajo la tutela del ángulo recto, en forma de recuadros y alifces. Todas las torres mudéjares están revestidas de prolijas labores de ladrillo, pero éstas no rebasan el marco del encasamento que les está señalado y por su escaso relieve no destruyen el plano, que conforma el volumen...

7. La horizontalidad y la cuadratura como afán en la composición.
8. El cuadrado, el círculo y el triángulo equilátero como generadores del trazo.
9. Proporción 1: 1.5 en fachadas y el uso del triángulo rectángulo con proporción 3:4:5.
10. Decoración profusa, tupida y reiterante, siempre atectónica.
11. Predominio del volumen y de la desnudez en las masas del edificio.
12. Valoración de la silueta, riqueza por agrupación de volúmenes compactos, remates suaves, curvos redondeados, tamizados.
13. Incorporación del jardín y el paisaje al edificio.
14. El patio como elemento de composición.

Es por lo anterior que el análisis detallado y serio del Periodo Posromano (Románico) de la Península Ibérica es fundamental en la comprensión de nuestra propia arquitectura. Son estos patrones un legado que perdura actualmente, y se encuentra presente inclusive en nuestra arquitectura vernácula contemporánea.

Regresando a Castro Villalba y apoyándonos en Fernando Chueca Goitia, podemos derivar estos invariantes de nuestra arquitectura en legados constructivos importantes del Periodo. Por ejemplo la sencillez o minimalismo constructivo, cierta rusticidad de texturas, aplicación

⁶⁹ Estilo artístico de los cristianos que vivían con los árabes.

⁷⁰ Estilo artístico de los árabes que vivían con los cristianos.

⁷¹ Apéndice I: Cronograma y Fichas Analíticas de la Evolución Histórica de los Materiales y Sistemas Constructivos Comunes en la Arquitectura, Arquitectura Posromana.

⁷² Fernando Chueca Goitia, Invariantes Castizos de la Arquitectura Española.

⁷³ Salientes en forma de ménsula, con el que se adorna la parte inferior de una cornisa.

⁷⁴ Arcada, mampara o cancel de tres puertas, adornado con imágenes de santos, detrás del cual se colocan los sacerdotes griegos durante la consagración católica ortodoxa y en el románico español.

generalizada de la geometría en el trazo de edificios, el manejo de la trigonometría en la construcción y nivelación de los edificios, y por último, la aplicación de recetas de dimensionamiento empírico en secciones de columnas y bóvedas.

En este punto final es importante enfatizar que la aparición de la doble columna soportando un arco se debe fundamentalmente a la comprensión experimental del área de la sección de los apoyos como factor correlacionado con su capacidad de carga.

La Arquitectura Islámica⁷⁵ es fundamentalmente creada por árabes en el medio oriente y norte de África. Es esta corriente arquitectónica que se infiltrará y ocasionará una simbiosis con la arquitectura románica dando como resultado en España el Mozárabe y el Mudejar.

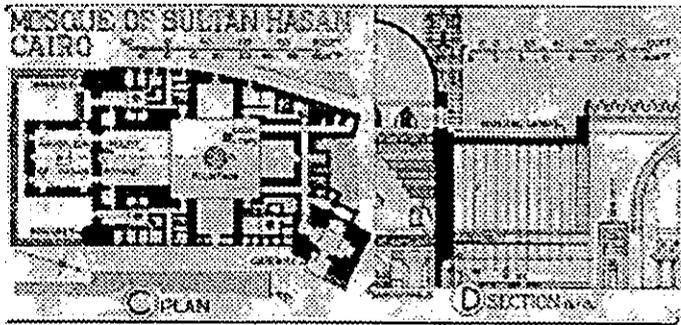


Ilustración 5. Planta de la Mezquita del Sultán Hasan en el Cairo, Egipto, donde se aprecia la compartimentación del espacio mediante espacios pequeños y circulaciones largas y complejas.

El Mozárabe, arquitectura de españoles bajo la influencia árabe, y el Mudejar, arquitectura de árabes bajo el dominio español, no se puede entender sin comprender la influencia de los moriscos, árabes no nacidos en tierras ibéricas, que provienen de la zona del Islam invadiendo la península ibérica en guerras santas por mantener el control territorial de Tierra santa (guerras llamadas Cruzadas).

Es en el Islam donde surgen los puntos o patrones invariantes que Fernando Chueca Goitia menciona en su libro:

1. El Espacio Cuántico generado por la estratificación sucesiva degradada desde el espectador hasta el fondo del espacio. Se le dice cuántico por la aparición de cuantos espaciales, está producido por saltos espaciales donde la columna y arquerías son fundamentales para este efecto, en contraposición del espacio infinitesimal de la arquitectura occidental, el espacio abierto perspectivado de conocemos.
2. El Espacio Compartimentado en pequeños cuartos o salas donde las circulaciones se van complicando, generando corredores y corredizos difíciles de rastrear. Aquí el pasillo hace su aparición histórica en la arquitectura.

⁷⁵ Apéndice I: Cronograma y Fichas Analíticas de la Evolución Histórica de los Materiales y Sistemas Constructivos Comunes en la Arquitectura, Arquitectura Islámica.

3. Presencia de Axialidad Quebrada en planta, donde se generan circulaciones con remates visuales guiadas por paramentos arcadas y bóvedas.

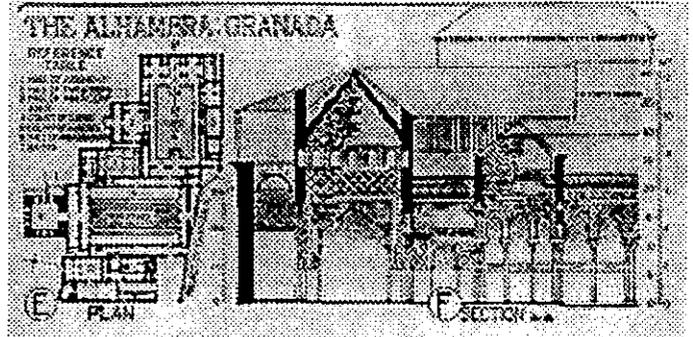


Ilustración 6. Planta de la Alhambra en Granada, en España, donde la axialidad quebrada genera remates y visuales en la circulación del edificio.

Revisando los conceptos de Castro Villalba donde menciona que "incluir la construcción arquitectónica islámica como un capítulo de la historia de la construcción puede parecer un contrasentido" y que "hablar de la construcción islámica debe ser la descripción de unas fórmulas constructivas ligadas a una religión más que a una época", y llegar al extremo de afirmar que "también es una cuestión polémica si se debe aplicar el calificativo de islámico a estos sistemas" es caer en parcialidades que el mismo contradice cuando curiosamente contra fundamenta correctamente al hablar de las doctrinas del Corán que influyen en la concepción y ornamentación espacial.

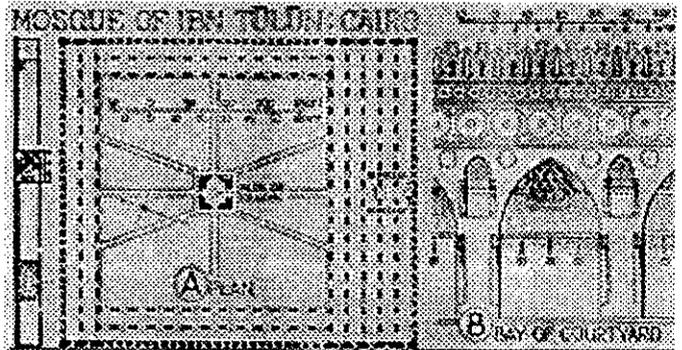


Ilustración 7. Espacio Cuántico generado por arcadas constantes que forman saltos visuales del espacio interior, visto en la Mezquita de Ibn Tulún en el Cairo, Egipto.

Los cinco puntos de interrelación arquitectónica religiosa del Islam que se mencionan, le dan vigor y definición total al Periodo Islámico. Es por estos conceptos que nace la Quibla, el muro hacia donde deben rezar los creyentes que generalmente está orientado hacia la Mecca, donde nace también el uso del Mirhab, nicho donde se resguarda los documentos del Corán.

Es por ello, y lo que señalamos sobre Chueca Goitia, que el estudio de la Arquitectura Islámica es fundamental en la concepción de la arquitectura española y latinoamericana, por lo que cuestionarse a priori si se debe estudiar este

periodo o afirmar que las formas constructivas generadas son producto de una religión más que una época, es aventurarse en definiciones sin argumentación seria.

El legado principal de la Arquitectura Islámica es aportar los espacios, formas y procesos constructivos que el Mozárabe y el Mudejar toman directamente y que fusionan con la Herencia Bizantina y Paleocristiana.

No se puede hablar de un "Letargo" y "Extinción" de la Arquitectura Islámica, como lo manejen ciertos autores, porque sería negar su *evolución natural* y el valor de las obras de arquitectos contemporáneos como Hassan Fahti.

En el Periodo Románico⁷⁶, la esbeltez y ligereza de los muros, lograda en el Paleocristiano sufre un revés y se densifica su sección probablemente por la necesidad de construir muchos más géneros religiosos a lo largo de toda Europa, con mano de obra menos calificada, aprovechando materiales de demolición disponibles en la región. Recordemos que el Románico se caracteriza fundamentalmente por la rusticidad de sus aparejos representada magníficamente en un Opus Emplectum *sui generis*.

Como apropiadamente menciona Castro Villalba, es en el Románico donde la necesidad de hacer edificios económicos sumamente resistentes y duraderos impulsa la generación de espacios litúrgicos cada vez más pequeños y sencillos en composición espacial, situación que se refleja en la configuración de sus sistemas constructivos predominantes.

Es en el Románico donde la cubierta de madera Paleocristiana, altamente inflamable y a merced de vandalismos y nulos mantenimientos, tuvo que ser sustituida nuevamente por bóvedas de cañón corrido. Si en el inicio esta situación parecía un paso hacia atrás en el desarrollo de la arquitectura europea, a lo largo del periodo se convirtió en un motor de desarrollo y diseño de formas estructurales novedosas que desembocarán posteriormente en la creación del Estilo Gótico.

En el caso de las bóvedas de cañón corrido, su construcción evolucionó a la creación de "costillas" arcadas que permitirían aligerar el grosor de la bóveda. Estas costillas desembocan en planta en formas de soporte de tipo contrafuerte. La transformación mencionada ocasiona que los muros que se densificaron en el principio del periodo, vuelvan a reducirse en espesor. Aquí los arcos pasan de estar colocados en sentido paralelo a la bóveda (recuérdese las arcadas con muros triforios⁷⁷ presentes en el Paleocristiano), a una posición transversal con carácter portante. Creo que

ésto es una aportación trascendente del Periodo Románico.

Las mismas bóvedas de cañón corrido, aprovechadas para cubrir plantas cruciformes típicas del periodo, generan intersecciones que en primera instancia ocasionan problemas de junteo en el colado. Es en ese momento en que en las aristas de las intersecciones de bóvedas surgen pseudo nervaduras que en un principio servirán de tapajunta interior, pero que posteriormente funcionarán estructuralmente en forma de nervaduras.

Cuando estas bóvedas de arista intersectan bóvedas de cañón corrido de distintos claros, la crucería adquiere trazos con formas elipsoidales en sus aristas.

Sin embargo, el trabajo con bóvedas de cañón tiene ciertas limitantes: Es imposible generar grandes claros entre los muros que sirven de apoyo. El manejo de nervaduras permite crecer estos claros, permite ampliar el espacio habitable. Pero hasta ciertos límites marcados siempre por el mismo material constructivo utilizado.

La creación de nervaduras deriva en la creación de columnas insertas en los muros que las reciben, como también genera una búsqueda de continuidad y equilibrio en las fuerzas que recorren las articulaciones de las estructuras. El Románico produce un legado profundo a la arquitectura mundial: **El diseño de elementos portantes y elementos portados.** En el Gótico esto se volverá plenamente consciente.

El Periodo Gótico⁷⁸ está caracterizado principalmente por la necesidad espiritual y política de construir más alto y más cerca de dios. **La verticalidad es la meta**, y en función de ella, las iglesias románicas sufren una transformación estructural importante, y a mi juicio personal, *de las más interesantes que existen en la Historia de la construcción arquitectónica.*

Si apreciamos el sistema tradicional romano y románico de construir paredes y ábsides, veremos que las formas son lisas y que se generan muros y cubiertas de grosor considerable. En el Gótico, la creación de un espacio similar determina distintas variantes y la creación de nuevos elementos que van a caracterizar la forma y la imagen de los edificios construidos en este periodo.

El mismo desarrollo de muros y ábside, se genera a partir de muros más altos, con menos espesor, sostenidos con contrafuertes escalonados y columnas insertas que a su vez están generados por arcos portantes en las bóvedas.

Si en el romano y románico se utiliza el semidomo y la bóveda de cañón corrido como cubierta, en el Gótico son sustituidos por el arco ojival, las nervaduras y las

⁷⁶ Apéndice I: Cronograma y Fichas Analíticas de la Evolución Histórica de los Materiales y Sistemas Constructivos Comunes en la Arquitectura, Arquitectura Románica.

⁷⁷ Galería que rodea el interior de las iglesias sobre los arcos de las naves y que suelen tener ventanas de tres huecos.

⁷⁸ Apéndice I: Cronograma y Fichas Analíticas de la Evolución Histórica de los Materiales y Sistemas Constructivos Comunes en la Arquitectura, Arquitectura Gótica.

plementerías⁷⁹, que apoyadas en muros arcados con triforios de ventanas ojivales, genera una solución estructural tan sincera, pura y visible, logrando magistralmente una verdad constructiva en la forma, que sólo igualable, en mi opinión personal, en magnitud a lo sucedido con Mies Van der Roe, Félix Candela o Pier Luigi Nervi en nuestro Siglo. *Estoy hablando de una Verdad Constructiva donde cada elemento constructivo del edificio está demostrando su necesidad y función estructural sinceramente, y no existen por lo tanto elementos adicionales que sobren o engañen en el conjunto funcional de lo construido.*

Si seguimos analizando la estructura de una Catedral Gótica, observaremos que regresan las techumbres de maderá, construidas como doble cubierta protectora de las Bóvedas cuatrimpartitas ojivales del interior de la nave principal. En estas techumbres de madera, se nota claramente la intención estructural del manejo de fuerzas, generando una armadura rudimentaria, en donde la triangulación fundamental de segmentos hace ya aparición. En las bóvedas cuatrimpartitas ojivales, se generan nervaduras construidas con segmentos preconstruidos de piedra, los cuales apoyan o soportan piedras o dovelas que cumplen una función inerte o pasiva, llamadas plementería.

El Empuje natural producido por las descargas laterales de la cubierta de madera, y los arcos y bóvedas ojivales, produce un empuje natural que por sí mismo derribaría al muro que lo soporta. Dada la relación altura espesor (relación de esbeltez) que tienen los muros que soportan las cubiertas, fue necesario crear los contrafuertes escalonados y, con el objeto de liberar las naves laterales o deambulatorios para actividades litúrgicas, los contrafuertes deben ser colocados lejos y no adosados a los muros de la nave principal. Ésto genera la invención de un apuntalamiento natural y genial llamado arco botarel, característico del periodo gótico.

Creo que mediante el ensayo y el error, los constructores góticos descubrieron que en ciertas ocasiones, estos contrafuertes botareles⁸⁰ eran insuficientes para apuntalar los empujes laterales de las bóvedas, por lo que, como un mercader que cambia las pesas en su balanza hasta encontrar el balance que le indique el correcto equilibrio del peso de la venta, el constructor gótico tuvo que experimentar con pináculos de piedra de distintos tamaños, sobre los contrafuertes escalonados, que con su propio peso estabilizarán la estructura, redirigiendo las fuerzas de empuje capturadas hacia la cimentación.

Es curioso observar que la solución de doble cubierta que en el Paleocristiano predominó, y que en cierto momento se desechó en el Románico, vuelve a aparecer con más fuerza en el gótico. Si observamos los deambulatorios,

estos están cubiertos con Bóvedas Ojivales Cuatrimpartitas que en realidad se acercan todavía más al concepto de Falso Plafón de nuestros días.

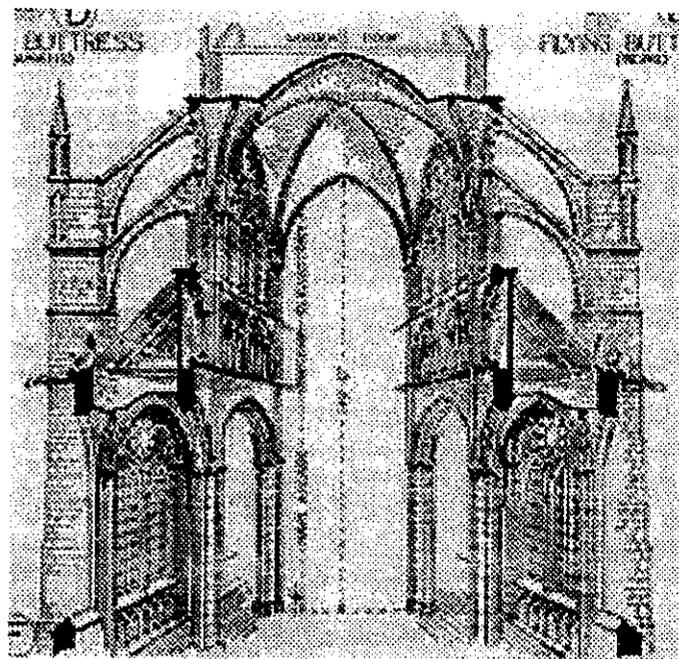


Ilustración 8. El Sistema estructural constructivo característico del Gótico. La verdad constructiva, la ligereza, la elasticidad y la estabilidad son sus características principales.

Es la verdad constructiva y estructural, la ligereza, la elasticidad, y la verticalidad del espacio construido gótico lo que se debe entender como el legado principal de la época. Es la evidencia del manejo inequívoco de las fuerzas, la comprensión de su comportamiento, lo que podemos subrayar como la herencia principal del Periodo Gótico.

En ésto me apoyo para estar en desacuerdo con la afirmación de Castro Villalba en la que menciona incorrectamente que "Puede Considerarse paradójico que un estilo que nos causa tanta admiración no haya dejado casi ningún rastro perceptible, ni técnica ni artísticamente (*sic*), al margen de algunos intentos del siglo pasado por recuperar más sus formas que su espíritu". El Gótico sí tiene un legado técnico, y éste es el dominio de la estructura del edificio.

Como atinadamente menciona William Fleming⁸¹ "las contradicciones que el gótico siglo XIII había podido conservar en un estado de precario equilibrio por la aplicación de la lógica escolástica y la jerarquización estricta, en el siglo XIV entraron en conflicto abierto. Como un paisaje bajo la tormenta, Italia alternativamente fue sacudida por los gélidos vientos del agonizante invierno medieval y templada por los primeros soplos de la

⁷⁹ Conjunto de piedras o dovelas que forman el elemento pasivo de una bóveda gótica y rellenan los espacios que quedan entre sus arcos.

⁸⁰ Contrafuerte gótico saliente de del paramento de un muro.

⁸¹ William Fleming, *Arte, Música e Ideas*, p.144.

naciente primavera del Renacimiento⁸². *En el norte aún se construían catedrales góticas, mientras que en el sur se revivía la serena belleza del arte clásico*... “Algunos pintores creaban imágenes del día del juicio final llenas de ángeles y demonios enfrascados en luchas, en tanto que otros ilustraban pasajes bíblicos como los vería el ojo de la sencilla gente del pueblo”.

No se puede concebir el Renacimiento si se piensa y analiza el periodo bajo el enfoque inicial que Castro Villalba plantea. Él afirma que sólo hubo una “escasa penetración del gótico en Italia - en Roma sólo existe una iglesia gótica -” y que “Lo cierto es que Italia apenas había sido gótica” lo cual no coincide con lo dicho por Fleming y los argumentos y evidencia que a continuación mostraré.

La verdad es que Italia, incluidas sus principales ciudades como Milán, Venecia, Roma, Siena y Florencia, vieron la convivencia y paulatina simbiosis del Gótico y las formas derivadas del Renacimiento durante un proceso que duró más de tres siglos. Es más, existen maravillosos ejemplos del Gótico en Italia que fueron inclusive **construidos posteriormente a algunas magníficas obras del Renacimiento Florentino**. Como muestra basta mencionar a la majestuosa Catedral Gótica de Milán (1385 - 1485), y la presencia de la Renacentista Santa María de las Flores en Florencia (1292 - 1462). Inclusive, y como ejemplo de la simbiosis que menciono, Santa María de las Flores fue inicialmente construida por Arnolfo di Cambio en pleno estilo gótico en 1296, su cúpula construida por Filippo Brunelleschi entre 1420 y 1436 bajo la influencia Renacentista, el Campanille edificado por Giotto en 1334 y terminado por Andrea Pisano entre 1336 y 1348. Adicionalmente se puede mencionar que Santa María de las Flores llega más allá del Renacimiento, hacia al pasado y el futuro, puesto que su bautisterio fue hecho entre 1069 y 1150 (Románico), y su fachada principal, con fuerte influencia Neoclásica, entre 1875 y 1887.

La realidad es que el Gótico sí penetró en Italia y coexistió con las nuevas ideas del Renacimiento Italiano. Nunca hubo tan pretendida ausencia, mucho menos poca influencia. El bello interior gótico de Santa María de las Flores es la mejor evidencia. El resto de su edificación es la definitiva evidencia de esta simbiosis.

En otro orden de ideas, creo que el **principal legado constructivo del Renacimiento se encuentra en comprender la separación de estructura y recubrimiento como dos elementos creativos y explotables independientes pero integrales.** Todas las obras del Renacimiento Italiano manejan a la estructura con muros con aparejos burdos y variados con el dimensionamiento y sección suficiente para soportar el edificio, pero al mismo tiempo generan un

repertorio ilimitado de aparejos de recubrimiento que le dan al Periodo su característica principal.

Aparecen Almohadillados en los Muros, combinaciones de aparejos de sillería, de piedra y mármol, aplacada de hasta tres a cinco tipos distintos en fachada, tanto en el dimensionamiento de las piezas, como en el acomodo de ellas. Aparecen frontones y balaustradas falsas en ventanas rectas y arqueadas. Y sobre todo, hace su aparición el *Cornicione* o cornisa que remata a la mayoría de los palacios o residencias de mercaderes y comerciantes, influyentes y mecías, de la época.

Pienso que es también un desarrollo importante de la época la aplicación de la Perspectiva en la Arquitectura, pero en lo que no estoy de acuerdo es en la afirmación de Giedion, citado por Castro Villalba⁸³, de que “La perspectiva no fue invención de una sola persona; fue la expresión de toda una época” obviamente refiriéndose al renacimiento.

Creo que la perspectiva sí fue desarrollada ampliamente en este Periodo, pero que de ninguna manera fue inventada en esta época. Fueron definitivamente los griegos quienes nos demostraron, con las correcciones ópticas del peristilo del Partenón, que la perspectiva era comprendida y utilizada por ellos en el diseño de edificios. De hecho, el mismo Vitrubio la menciona constantemente en sus volúmenes escritos que analizan a la arquitectura clásica.

El que no tengamos evidencia escrita o dibujada del manejo de los antiguos de la perspectiva, no implica que no debamos creer en la evidencia física que hemos encontrado y protegido en la Arquitectura Griega y Romana. **La ausencia de prueba no significa la prueba de su ausencia.**

Aunque su descubrimiento no puede ubicarse en la historia, se sabe que el vidrio fue utilizado en objetos del antiguo Egipto (c. 1500 a.c.). Fueron los egipcios quienes inventaron la caña de soplar. En el imperio romano (c. 50 b.c.) hubo fábricas de vidrio blanco, incoloro y de tonos rojos y azules. El vidrio se fusionó por primera vez a la arquitectura durante el periodo Protocristiano y Bizantino. Las vidrieras de colores se usaron en los vanos como decoración mística y espiritual. El vidrio se opacaba con óxido de estaño y era entintado en diversos colores. Tomó siglos desarrollar la técnica y arte del laminado del vidrio, el cual fue utilizado magistralmente en los periodos gótico y renacentista. Grandes ventanales y rosetones de vidrio coloreado fueron creados en las fachadas de iglesias, escuelas, castillos, hospitales y palacios. En el siglo XIII se establecieron las primeras fábricas en la famosa isla de Murano, cerca de Venecia. El cristal⁸⁴ hizo su aparición en el siglo XVII y sustituyó paulatinamente al vidrio en la arquitectura. El vidrio ayudó a la creación de miles de fábricas y fuentes de trabajo por toda Europa y se

⁸² Apéndice I: Cronograma y Fichas Analíticas de la Evolución Histórica de los Materiales y Sistemas Constructivos Comunes en la Arquitectura, Arquitectura del Renacimiento.

⁸³ Castro Villalba, *Op. Cit.*, Capítulo X.

⁸⁴ El cristal está formado de vidrio potásico y un elevado porcentaje de cal.

necesitaron siempre, en cada momento, mejores técnicas de producción.

El cristal fue combinado magistralmente con un nuevo material producido en el siglo XVIII: el hierro colado. Este material requirió el desarrollo de nuevas técnicas de fabricación y generó todo un nuevo procedimiento constructivo. El hierro colado fue utilizado en el famoso Palacio de Cristal, construido en Londres, para la Gran Feria Mundial de 1851. El hierro colado dio lugar a una búsqueda de nuevas alternativas en materiales que culminaron en el siglo XIX con la fabricación del acero que, al final de ese siglo, se combinó con el mejor de los inventos del imperio romano. El concreto armado apareció en la arquitectura.

2.1.2 Los Materiales y Sistemas Constructivos Después de la Revolución Industrial hasta el Siglo XIX.

Al analizar todo lo anterior, se imponen varios cuestionamientos fundamentales: ¿Porqué seguimos construyendo con los materiales que usaron los egipcios, griegos y romanos? ¿cuál es la razón por la que en casi dos mil años se mantuvieron vigentes dichos materiales y procedimientos? ¿porqué algunos de los materiales usados actualmente hicieron su aparición solamente hace poco más de un siglo?

Las respuestas a estas preguntas, las podemos encontrar en la revolución industrial, que fue el conjunto de transformaciones políticas, económicas, ideológicas, científicas y sociales que se produjeron en diversos países, gracias al desarrollo de la industria moderna a partir del siglo XVIII.

La revolución industrial surgió en Inglaterra (c. 1760 d.c.) como resultado de una serie de acontecimientos paralelos: La necesidad de Gran Bretaña de estimular el comercio dentro y fuera de su imperio, junto con la reciente aparición de nuevas ideologías políticas y económicas, movieron a los industriales británicos a inventar nuevas técnicas que permitieron, rápidamente, aumentar su capacidad de producción y competir contra los productos artesanales tradicionales de su tiempo. Estas técnicas se basaron en una serie de conocimientos científicos y tecnológicos aislados, disponibles desde el siglo XV. El resultado fue la invención de la máquina de vapor y la máquina de hilar. Posteriormente surgió el ferrocarril, el cual dio origen a una transformación total en las comunicaciones terrestres, y requirió un desarrollo en los métodos de obtención de materiales tales como el hierro, el acero y el carbón. La revolución industrial se extendió en todas las ramas de la producción, a todos los países, y originó profundas transformaciones en la economía y la sociedad. Todo tipo de máquinas hicieron su aparición, que con el descubrimiento y la aplicación de la electricidad, evolucionaron a mayor velocidad.

Es entre el Manierismo y el Rococó, cuando el mundo entero, a partir de cambios ideológicos y descubrimientos

científicos, que la arquitectura sufre una profunda transformación. El hombre del barroco adquirió un nuevo concepto de sí mismo y de su sitio en el universo, concepto que fue estimulado por la exploración del globo terrestre por los navegantes, el estudio sistemático de los cielos por los astrónomos, y por el ingenio de los inventores.

Fue el telescopio de Galileo el que confirmó y popularizó la teoría heliocéntrica de Copérnico de que la tierra giraba alrededor del sol y no el sol alrededor de la tierra. Al saberse que la tierra era un mundo en constante movimiento, el hombre se dio cuenta de que estaba sujeto a leyes mecánicas y matemáticas, y en consecuencia, era posible calcular los fenómenos del universo dentro de parámetros considerables.

El racionalismo de siglo XVII, se basó en el criterio de que el universo podía ser conocido cuando menos en términos lógicos, matemáticos y mecánicos. Mientras el racionalismo griego se había basado en la percepción y medición de un mundo estático, el racionalismo barroco tuvo que analizar con detalle un mundo dinámico.

Nace el pensamiento científico que se preocupó por comprender el movimiento en el tiempo y el espacio. El pensamiento científico descubrió la necesidad de las matemáticas para poder entender el mundo de la materia en movimiento, lo que llevó a Descartes a generar la Geometría Analítica, a Blaise Pascal a estudiar las curvas cicloides, y a Leibniz y Newton el desarrollo del cálculo integral y diferencial.

La estática y la resistencia de materiales se conocen a través de los trabajos de Galileo Galilei, y con Robert Hook se define el concepto de elasticidad de los materiales. El momento de inercia es descubierto y comprendido por Euler, mientras que Coulomb escribe un tratado sobre esfuerzos vectoriales.

La invención en el barroco produjo inventos que permiten actualmente controlar y medir perfectamente los cambios climáticos que afectan al edificio: El Barómetro, el Termómetro, el Anemómetro. Se inventaron nuevos procesos de industrialización que llevaron a la cúspide de este periodo con la aparición de la Primera Revolución Industrial.

Es este panorama descrito el que Castro Villalba trata de definir como el Periodo Precientífico⁸⁵ de la Arquitectura, acepción en la que posiblemente esté acertado si se considera que la aparición de los conocimientos mencionados no fue inmediatamente aplicada a la arquitectura. Es correcta si se interpreta que después de este momento, los elementos constructivos, sobre todo los estructurales y el comportamiento de los materiales, es calculable completamente.

⁸⁵ Apéndice I: Cronograma y Fichas Analíticas de la Evolución Histórica de los Materiales y Sistemas Constructivos Comunes en la Arquitectura, Arquitectura Precientífica.

Pero si recordamos las aportaciones y legados técnicos de cada uno de los Periodos estudiados, la definición de Castro Villalba es corta, puesto que son los mismos griegos los que calculaban de cierta forma los empujes de ciertas fuerzas, y eran los romanos los que ya utilizaban mediciones precisas para hacer acueductos, y era en el gótico donde las secciones de los elementos portantes y su comportamiento habían sido comprendidos y aplicados.

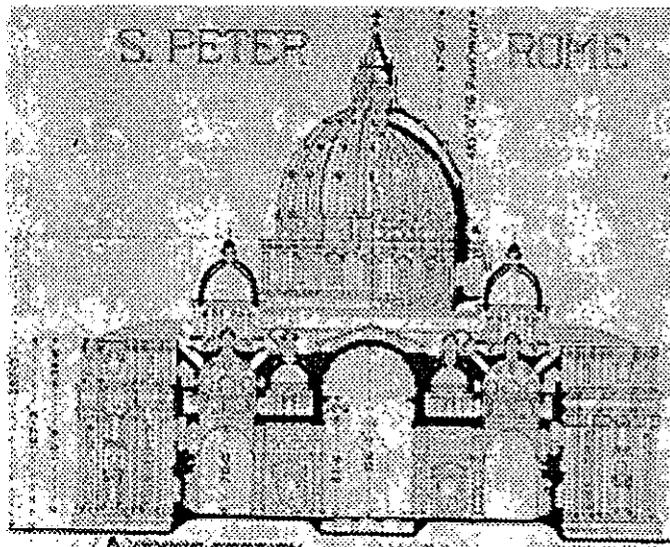


Ilustración 9. La Basílica de San Pedro en Roma. El ábside y el domo fueron construidos por Miguel Ángel, de 1547 a 1564. Sin embargo el domo fue terminado por Giacomo della Porta entre 1588 y 1592. La nave central y fachada principal fue construida por Carlos Maderno de 1606 a 1626. Por último, durante el barroco, la columnata de la plaza fue realizada por Gianlorenzo Bernini, de 1656 a 1663.

Todos estos momentos demuestran que si hablamos de momentos precientíficos de la historia de la arquitectura, debemos incluir toda la masa de conocimientos empíricos descubiertos y guardados por los constructores desde los asirios y los caldeos, hace más de 5000 años, hasta la aparición de la Revolución Industrial. Todo antes del Método Científico es Precientífico.

Ahora bien, si analizamos el legado particular constructivo de este periodo, que desde mi punto de vista prefiero llamar Científico, podremos encontrar que, a pesar de que las formas de la arquitectura caen en modas rebuscadas, y que a pesar de que se cae en discursos complejos sobre el uso y reuso de los mismos materiales y sistemas constructivos que hemos utilizado desde los egipcios, existe una herencia importante, la que considero es la utilización del conocimiento científico para generar nuevas soluciones constructivas coherentes y económicas hacia el futuro.

El surgimiento de las ingenierías como resultado de la Industrialización después de la Revolución Industrial y la aparición de nuevos materiales constructivos producto de

este movimiento, crearon en el Neoclásico del Siglo XIX, serios cuestionamientos en el trabajo del constructor.

Como acertadamente menciona Antonio Fernández Alba⁸⁶ “De la disputa clásica entre ciencia y arte, de las relaciones de la forma versus función, de la polémica arquitectos contra ingenieros, podríamos señalar que es evidente que las nuevas formas surgidas de la producción industrial cuestionaron el papel de las ingenierías, pero habría que señalar que la ingeniería como arte es muy anterior a la ingeniería como profesión; no obstante, los parámetros científicos derivados de la práctica ingenieril han estado presentes incluso en épocas donde el secreto de oficio obstaculizó la transmisión pública de los conocimientos técnicos, pues el misterio corporativo prevalece hasta bien superada la Edad Media. El desarrollo científico de la ingeniería es una realidad patente en los siglos XVII y XVIII, donde se fomenta de modo fehaciente el desarrollo de la ciencia y su influencia sobre la tecnología” y añade “Sería posteriormente, con el desarrollo de la sociedad industrial, cuando llega a institucionalizarse, y será éste el momento de establecer equivalencias entre desarrollo económico y tecnológico”

Fernández Alba también menciona que “No están tan alejados del conocimiento de la ingeniería los principios de la arquitectura”... “Innovar fue siempre la tarea del maestro constructor; es decir, hacer algo que no fuera posible realizar antes, verificar la transformación en el medio y en los órdenes establecidos, descubrir un conjunto de posibilidades que permitan definir lo que es posible construir y cómo realizarlo”.

Es precisamente esta particularidad de interpretar al constructor correctamente como especialista la que permite generar obras arquitectónicas desde el siglo pasado con los nuevos materiales constructivos encontrados, el comprender que entre constructores no hay diferencia, que tanto el ingeniero como el arquitecto son técnicos de la construcción, es lo que permite que con la Revolución Industrial se experimenten nuevos caminos y fórmulas plenamente científicas, calculadas y normalizadas que hacen, al final del siglo XIX, la transición posible al movimiento moderno de nuestro siglo.

Es la Innovación que lleva a los constructores del Siglo XIX⁸⁷ a explorar nuevas soluciones, algunas veces basándose en las formas de otros periodos y estilos, a aprovechar el acero, el hierro colado, el cristal y el concreto, para lograr nuevas formas y programas arquitectónicos que influirán en nuestro Siglo XX.

Como acertadamente menciona Castro Villalba, entre los legados más importantes de este periodo se encuentran el

⁸⁶ Antonio Fernández Alba, *Op. Cit.*, pp. 81 - 92.

⁸⁷ Apéndice I: Cronograma y Fichas Analíticas de la Evolución Histórica de los Materiales y Sistemas Constructivos Comunes en la Arquitectura, Arquitectura del Siglo XIX.

entendimiento profundo y científico de los elementos constructivos, que permite, de forma veraz, diseñar calculando y previniendo los comportamientos futuros de las nuevas edificaciones. Sin el Siglo XIX y la experimentación y mezcla de técnicas y formas antiguas, con los nuevos procesos y materiales constructivos, no hubiese sido posible concebir la arquitectura de Le Corbusier, o la de Frank Lloyd Wright o la de Mies Van der Roe. Mucho menos la historia de la arquitectura del Siglo XX.

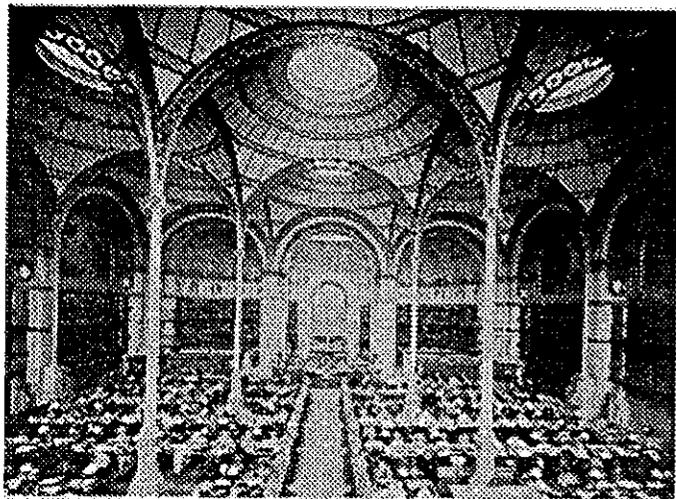


Ilustración 10. La Librería Nacional de París: una muestra magistral del entendimiento del hierro colado y el cristal como nuevos materiales de construcción.

2.1.2.1 La Industrialización y los Materiales Constructivos.

Todos los ejemplos mostrados utilizaron en su momento, materiales que seguimos aplicando actualmente. Es una Hipótesis Complementaria de este trabajo, la siguiente afirmación:

Durante más de cinco mil años, la humanidad construyó con los existentes materiales que el planeta naturalmente proporcionaba, y sólo se dedicó a diseñar formas, estructuras y espacios dentro de las posibilidades y limitaciones que éstos plantearon. A partir de la revolución industrial, aparecieron métodos para crear nuevos materiales, que a su vez permitieron nuevas perspectivas en la estructuración y la distribución espacial.

A partir de la Revolución Industrial, se desarrollaron novedosos procesos para la fabricación de nuevos materiales para la edificación, que posteriormente permitieron explorar nuevas fronteras en la concepción de sistemas constructivos.

La **Revolución Industrial**⁸⁸ del siglo XVIII transformó profundamente la economía y la sociedad mundial. Estuvo basada en la acumulación de ideologías políticas y económicas, y el desarrollo de técnicas producto de conocimientos científicos y tecnológicos disponibles desde el siglo XV. Los procesos de producción se eficientaron con la aparición de maquinaria especializada, la electricidad, la máquina de vapor, la máquina de hilar, el telégrafo, el teléfono y la locomotora.

La industrialización de los materiales constructivos permitió la definición del principio de prefabricación de componentes. Primero con el hierro colado, después con el acero, la aparición de perfiles estructurales facilitó la construcción de vías de ferrocarril, y la edificación de fábricas, mercados y escuelas.

La **Segunda Revolución Industrial**⁸⁹, a principio de nuestro siglo, estuvo marcada por el acentuado desarrollo de sistemas eléctricos de poder aplicados a maquinaria industrial. Se inventaron el avión y el automóvil que cambiaron el concepto de transportación en la humanidad. En la edificación de edificios, el concreto armado y los primeros plásticos sintéticos derivados de los hidrocarburos hicieron su aparición, afianzándose en el diseño arquitectónico de los sistemas constructivos. Las formas arquitectónicas construidas sufrieron un cambio radical al incluir los materiales mencionados.

Al acabar la llamada *Era Eléctrica* con el descubrimiento de los materiales semiconductores, justo después de la Segunda Guerra Mundial, la nueva *Era Electrónica* de la Segunda Revolución Industrial, generó avances significativos que llevaron a la conquista de la luna. En este periodo, la arquitectura generó las primeras y más importantes contribuciones a la industrialización de la construcción. La industrialización floreció en múltiples sistemas constructivos prefabricados que trataron de resolver el problema de vivienda mundial generado por las guerras. Todos los sistemas propuestos hicieron del *acero estructural, el concreto armado y los plásticos sintéticos* los materiales constructivos prefabricados por excelencia.

En el presente somos protagonistas de la **Tercera Revolución Industrial**⁹⁰, también llamada la *Revolución Tecnológica e Informática*, que prácticamente inició con la invención del microprocesador y las microcomputadoras. El momento actual ha determinado un avance tecnológico gigantesco en cada área del conocimiento humano.

⁸⁸Se considera que la Revolución Industrial comienza en 1733 cuando John Kay inventa la máquina de hilar. Cuando Alexander Graham Bell inventa el teléfono en 1876, se da por terminado éste periodo.

⁸⁹Se considera que la Segunda Revolución Industrial comenzó en 1879 con la invención del alumbrado eléctrico por Thomas Alva Edison, y que terminó con la primera transmisión de un fax en 1974. El periodo constó de dos eras: La eléctrica y la electrónica.

⁹⁰La Tercera Revolución Industrial a generado inventos tales como la informática aplicada, la multimedia, el Internet, el disco compacto, los video juegos y la realidad virtual.

Sin embargo, la arquitectura se ha rezagado paulatinamente, con respecto a otras disciplinas, en cuanto a materiales constructivos se refiere. La industria electrónica revolucionó los plásticos y utilizó al máximo los nuevos materiales semiconductores. La tecnología espacial derivó sus descubrimientos a la aeronáutica, la industria automotriz, el vestido, la medicina y el deporte. Las computadoras y los nuevos materiales mejoraron la calidad de los diseños industriales y gráficos. Pero la arquitectura ha tomado con demasiada cautela los nuevos descubrimientos en la investigación de materiales, y en muchos casos intenta mirar a lo que ya fue, en lugar de mirar hacia lo que vendrá. La arquitectura debe entrar en un nuevo periodo de investigación e industrialización, para ganar el camino perdido.

Hoy, como entonces, somos protagonistas de una nueva revolución vertiginosa de alcance mundial. Nuestra generación es testigo de una nueva transformación en la industria, las comunicaciones, la tecnología y la ciencia. La *revolución tecnológica e informática* nos permite, actualmente, pensar en caminos insospechados en la creación de nuevos materiales aplicables a cualquier actividad. Pero, ¿Cuáles de todos estos nuevos materiales tiene un futuro en la arquitectura? ¿Cuáles de ellos plantearán un nuevo reto a la imaginación y preparación de los arquitectos? ¿Cuántos requerirán nuevos tipos de estructuras, instalaciones y espacios?

2.1.3 Los Materiales y Sistemas Constructivos en el Siglo XX.

2.1.3.1 Los Plásticos en la Arquitectura.

Los arquitectos estamos ubicados en un momento histórico de la humanidad, con múltiples problemas que merecen toda la atención y participación activa. La sobrepoblación, la contaminación, la extinción de las especies, la deforestación, y la generación de desperdicios afectan el desarrollo tecnológico y limitan la asistencia y resolución rápida de las necesidades básicas de confort de la población mundial.

Los sistemas constructivos prefabricados no han podido resolver adecuadamente el problema de la carencia de vivienda mundial. En algunos casos por intereses políticos, otros por problemas demográficos, en otros por falta de recursos económicos, la prefabricación no ha podido cumplir con su objetivo de masificar eficientemente la edificación. El problema se incrementa día con día, sin verse a la distancia alguna solución práctica y formal. Se debe considerar seriamente, si el estancamiento de los materiales constructivos actuales de la arquitectura, y sus procesos de producción y comercialización, son de alguna forma culpables indirectos del incremento del déficit mundial.

Por otro lado, los materiales constructivos que actualmente utilizamos generan un gran daño ecológico, del cual somos responsables los encargados de diseñar y construir el espacio habitable. En el diseño y construcción de ciudades y conjuntos urbanos, el arquitecto destruye el hábitat natural establecido de organismos vegetales y animales, para construir sobre el terreno el edificio. Además, en el proceso de construcción generamos envenenamiento permanente del suelo con cal, cemento, ácidos, basura y cascajo. Entre más grande sea el desarrollo urbano en construcción, mayor será la generación de nubes densas de polvo, cal y tierra que se esparcirán sobre la zona vecina. Seguimos utilizando a la madera para obra falsa y acabados generales, cuando sabemos que en el mundo se destruyen bosques completos indiscriminadamente que constituyen nuestra única fuente de supervivencia futura. Es importante evaluar si un cambio de sistemas constructivos, generado por nuevos materiales de edificación, permitirán concretar mejores, más limpios⁹¹ y eficientes procesos constructivos. No podemos seguir dañando al planeta con nuestros materiales agresivos.

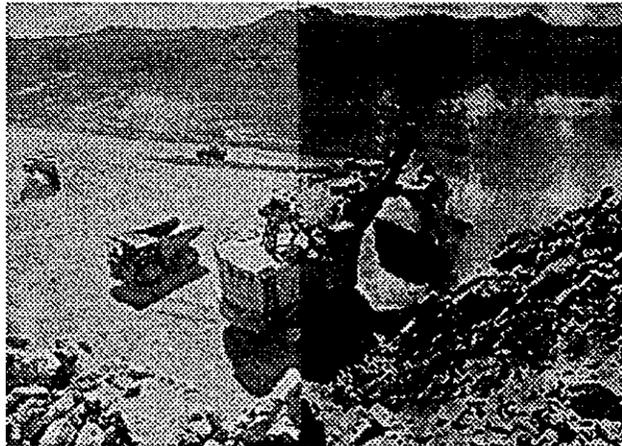


Ilustración 11. El proceso de extracción de materiales para los procesos constructivos e industriales destruye paulatinamente la superficie terrestre y contamina nuestra atmósfera.

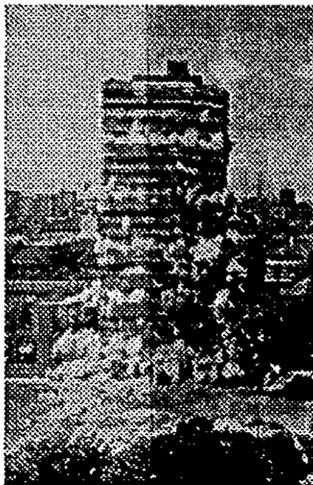


Ilustración 12. Los arquitectos somos culpables indirectos de la contaminación urbana en cada proceso constructivo. Los materiales que nos empeñamos en utilizar son la causa.

⁹¹Un sistema constructivo prefabricado busca racionalizar el material con el que está construido, por lo que tiene que evitar el desperdicio en obra.

La arquitectura actual utiliza muy poco los materiales plásticos existentes de tipo mineral, vegetal o derivados de los hidrocarburos, en la producción de componentes constructivos⁹². El material predilecto y consentido de la industria de la construcción es el concreto armado, y en torno a él, se diseñan innumerables soluciones y sistemas constructivos en el mundo. Inicialmente se consideraba que la razón más importante por la cual el plástico no se usaba en sistemas edificatorios, era su limitante costo. Pero los procesos actuales de industrialización permiten la obtención de objetos constructivos plásticos sumamente baratos y en volúmenes generosos. Si lo que requerimos es producción masificada de componentes constructivos, el plástico es una solución a corto y mediano plazo.

Los precursores de estos nuevos materiales son los plásticos: Materias sintéticas, generalmente fabricadas de resinas artificiales, que pueden ser moldeadas por la acción del calor y la presión. Aunque la mayoría de las personas relacionan al plástico con el petróleo, es posible derivarlas a partir de otros caminos. Los plásticos pueden ser creados a base de minerales diversos, materias vegetales y compuestos animales.

En el caso de plásticos obtenidos de los minerales, se puede hablar de la familia del silicón. Los silicónes son compuestos orgánicos y macromoleculares similares a los derivados del petróleo, pero en cuyas moléculas los átomos de silicio reemplazan totalmente a los de carbono. Sin el silicón⁹³, es prácticamente imposible pensar en la electrónica moderna. En 1947, este material permitió la invención del transistor⁹⁴, que sustituyó a los bulbos como componente electrónico. Este invento derivó en 1954, en la creación de los circuitos integrados, y en 1971, con el desarrollo del microprocesador. Los productos construidos con silicio plástico son llamados semiconductores, debido a su característica peculiar de transmitir la electricidad en función de su temperatura: Un semiconductor sometido a altas temperaturas disminuye su resistencia eléctrica. El silicón ha sido usado en la industria de la construcción como sellador de superficies, como masa de junteo y adhesivo de elementos, debido principalmente a su característica repelencia al agua.

Dentro del reino vegetal, se pueden fabricar diversos tipos de plásticos, entre los que se encuentran las celulosas y el caucho⁹⁵. De celuloide se construyeron los primeros

carretes de película para el cine, y de caucho las primeras llantas de los automóviles. En la construcción, las celulosas han sido utilizadas para la fabricación de aglomerados y laminados, además de usarse como ingredientes en diversos tipos de pinturas y recubrimientos. Dentro del reino animal se puede obtener la caseína⁹⁶ y la galalita. La caseína es utilizada para fabricar la cola o pegamento usado por los carpinteros para adherir madera. La galalita se fabrica al mezclar la caseína con el formol, y es manejada en la elaboración de botones, adornos femeninos y mangos de sombrillas.

Hablando de los materiales plásticos derivados del petróleo⁹⁷, podemos mencionar diversas familias importantes para el campo de la construcción: La del cloruro de polivinilo (PVC), la del poliuretano, la del polietileno y la del acrílico. El cloruro de polivinilo se usa para la fabricación de todo tipo de tubería y uniones eléctricas, hidráulicas y sanitarias, además de utilizarse en la ventanería, los revestimientos de fachada, laminados para cubiertas y mobiliario en general. El poliuretano se utiliza como base para adhesivos, lacas, revestimientos, cojinería y perfiles para juntas. En forma de espuma se ha usado en combinación con el concreto para formar prefabricados ligeros. El polietileno se utiliza para fabricar películas de protección a la intemperie, envolturas, sellado, cristalería sintética y pantallas de lámparas. El acrílico se usa para la creación de sustitutos de cristal, domos, accesorios sanitarios, aditivos de concreto y pintura.

Aún cuando ciertos objetos constructivos fabricados con plásticos son sumamente baratos, el precio ha limitado su uso en las estructuras de los edificios. Esto se debe principalmente a que el petróleo es utilizado como combustible y lubricante. En un futuro no lejano, y debido a la contaminación mundial, dejaremos de usar este recurso como fuente energética, para sustituirlo con otras formas más eficientes como la energía solar, eólica, nuclear o química. En ese momento, y si no hemos terminado con este recurso, podremos reducir su costo al máximo, para utilizarlo exclusivamente en la obtención de los plásticos que requerimos.

Aunque el futuro cercano plantea como reto el uso de mayores variedades y aplicaciones de plásticos en la arquitectura, *existen actualmente dos ramas de la ciencia que están definiendo realmente los materiales constructivos del próximo milenio*. Una es la Ingeniería Aeroespacial, la otra, la Ingeniería Bioquímica y la Ingeniería Genética.

⁹²El plástico se usa en productos menores o de tipo complementario. El plástico es usado en mobiliario sanitario, productos eléctricos, instalaciones hidráulicas y sanitarias, selladores y aislantes, pegamentos, juntas, pinturas y recubrimientos.

⁹³El silicón es el principal ingrediente de la arena de mar, y ocupa el 27.7 % de la corteza terrestre en forma de roca.

⁹⁴El diodo es el equivalente eléctrico de una válvula hidráulica de no retorno, y consiste en un emparedado de dos capas de plásticos, uno consistente en moléculas de silicio y boro (tipo P - positivo), el otro de silicio y fósforo (tipo N - negativo). El transistor común consiste en tres capas: P, N y P.

⁹⁵El caucho se obtiene de la coagulación de la savia del árbol del hule. La savia recibe el nombre de látex.

⁹⁶La caseína se obtiene de la leche de los mamíferos.

⁹⁷El primer plástico fue fabricado por Leo Hendrik Baekeland en 1906. Fue llamado baquelita, y se utilizó para equipo eléctrico por su excelente aislamiento.

2.1.3.2 La Investigación de Materiales como nueva ciencia.

La Investigación de Materiales es una disciplina nueva, principalmente resultado de la fusión de ciencias como la metalurgia y el estudio de los polímeros y las cerámicas. La Investigación de Materiales, vista como ciencia, estudia a todos los materiales conocidos por la humanidad. Aunque utilizada durante siglos de manera empírica, la Investigación de Materiales fue reconocida como ciencia hasta la segunda mitad del Siglo XX. Según el Dr. Witold Brostow⁹⁸:

... "Muchos de los nuevos campos de estudio aparecen debido al proceso natural de la ramificación de la ciencia. Algunos de ellos surgen debido a las necesidades tecnológicas, a guerras, y en ciertos casos, a necesidades económicas. Yo creo que (en contradicción con algunas leyes de la biología...) la ciencia de materiales tiene tres progenitores: la economía, la tecnología y la ciencia pura"...

La imperiosa demanda de materia prima en todas las áreas del conocimiento humano, causó que en determinado momento, ciertas compañías se especializaran y ofrecieran productos bajo especificación. Esta demanda ocasiono la fusión de todas estas ciencias para crear un vasto campo teórico práctico donde los investigadores utilizan, como proceso de diseño, la siguiente metodología general:

1. La revisión de los objetivos que el material deseado persigue.
2. La identificación de las especificaciones particulares derivadas de los objetivos.
3. Inventar o adaptar nuevos materiales para cumplir con los objetivos trazados.

Cuando la Investigación de materiales surgió, fue gracias a la fusión de la ciencia con la tecnología. Debido a las necesidades industriales, la Investigación de materiales trato en un principio de ofrecer a la industria una descripción de los materiales existentes idóneos para sus necesidades. Después, en el momento en que las necesidades y requisitos se volvieron más complejos, la Investigación de Materiales empezó a combinar materiales mediante el proceso de prueba y error.

Cuando la Investigación de Materiales requirió encontrar materiales para determinadas necesidades y se encontró con que no existían, se utilizaron los conocimientos de la física y la química para poder alcanzarlos.

La visión prospectiva hizo su aparición y la Investigación de Materiales fue creando paulatinamente

sus propias herramientas para lograr diseñar nuevos materiales.

Actualmente la Investigación de Materiales se basa fundamentalmente en la física molecular y en la fisicoquímica. La fusión de estos campos de conocimiento se conoce actualmente como Ingeniería Molecular⁹⁹. Como veremos más adelante, la Ingeniería Molecular es la fuente de información fundamental de éste trabajo de investigación.

Existen actualmente seis laboratorios líderes¹⁰⁰ en el descubrimiento de nuevos materiales para la industria, ocupando el primer lugar el Laboratorio Nacional de Argonne, el segundo es IBM Corporation, el tercero es la Universidad de California en Santa Bárbara, el cuarto lugar lo ocupan los Laboratorios AT&T, el quinto el Laboratorio Nacional de Oak Ridge, y el sexto lugar lo tiene el Instituto de Investigación de Materiales de la Universidad de Tohoku, en Japón.

El Laboratorio Nacional de Argonne fue creado oficialmente en 1946 por el gobierno de los Estados Unidos, pero realmente empezó antes con la creación del Laboratorio de Metalurgia que se estableció en la Universidad de Chicago en 1941, bajo la dirección del famoso Enrico Fermi.

En aquel momento, la tarea principal en la investigación de materiales consistía en encontrar caminos para producir plutonio para su uso en armas nucleares. En 1969, la División Metalúrgica de Argonne se convirtió oficialmente en la División de la Ciencia de los Materiales, enfocándose a la investigación de todo tipo de materiales además de los metales.

Actualmente el Laboratorio Nacional de Argonne tiene un grupo constante de 300 investigadores y científicos dedicados a descubrir nuevos materiales con presupuestos que llegan a los 70 millones de dólares anuales.

Por otro lado, en Japón, el Instituto de Investigación de Materiales de la Universidad de Tohoku fue creado desde 1916 para investigar avances físicos, químicos y metalúrgicos en los diversos metales y compuestos. Fue inaugurado el 21 de mayo de 1919 bajo el nombre del Instituto de Investigación del Hierro y el Acero.

Para 1922, la investigación del Instituto se expandió para estudiar metales ligeros y no ferrosos. Bajo la dirección del legendario Profesor Kotaro Honda, el Instituto de Tohoku se introdujo en las cerámicas y los polímeros, y ha inventado materiales como Acero Magnético, el Super Permalloy, el Sendust, el Superinvar y el Coelinvar.

En la actualidad, el Instituto de Investigación de Materiales de la Universidad de Tohoku tiene 350

⁹⁸ Profesor titular de química en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, *Introducción a la Ciencia de los Materiales*, pp. 7-12.

⁹⁹ Término acuñado por el Científico Arthur Von Hippel y sus colaboradores del Instituto Tecnológico de Massachusetts en 1959.

¹⁰⁰ De acuerdo con un artículo de la Revista *Science Watch*, llamado *Masters of Materials Research*, Octubre de 1995.

investigadores e imparte clases a 180 alumnos de posgrado con 58 profesores de planta.

2.1.4 Los Materiales y Sistemas Constructivos Vernáculos.

Analizando los ejemplos de arquitectura popular y vernácula de México y el mundo, se puede definir las siguientes consideraciones sobre los procesos constructivos implicados y sus materiales constitutivos.

La arquitectura bioclimática ha estado presente en la historia de la humanidad. *Los sistemas constructivos pasivos son evidentes en un sin número de edificaciones históricas en todo el mundo.* Algunas de ellas sumamente antiguas, otras extremadamente ingeniosas. No sucede lo mismo con las soluciones activas o híbridas, que son producto del análisis reciente del arquitecto de nuestro siglo. ¿Cómo es que el arquitecto actual lo descubre como un nuevo paradigma del diseño arquitectónico? ¿Porqué no es usado realmente en las construcciones actuales? Las respuestas la podemos encontrar en el análisis de diversas circunstancias acontecidas en la historia de la arquitectura, y que son evidentes, sólo después de la revisión de los antecedentes históricos documentados encontrados en el desarrollo de ésta investigación.

Fecha	Protagonista	Lugar	Principio Pasivo Básico.
Siglo I D.C.	Vitrubio.	Roma Italia.	Intento documental de conceptualización de patrones climáticos en la Arquitectura.
Siglo IV D.C.	Cultura Nórdica.	Noruega.	Techumbres con tierra y hierba aislante.
Siglo VII D.C.	Cultura Islámica.	Irán, Irak, y Egipto.	Colectores de viento, celosías, enfriamiento por masa acuosa y evaporación.
Siglo XI D.C.	Cultura Anasazi ¹⁰¹ .	Pueblo Bonito, EE.UU.	Vivienda Semienterrada, y Orientación Urbana Solar.
Siglo XVI D.C.	Cultura Azteca y Chichimeca.	Alti planicie Mexicana.	Vivienda Semienterrada, Construcción de Adobe, Integración pluvial.
Siglo XX.	Cultura Indígena Mexicana.	Michoacán Veracruz, Tabasco.	Vivienda con paredes y cubiertas filtradas al viento.
Siglo XX.	Cultura Berebere.	Matmata, Túnez.	Vivienda Semienterrada, Captación de Agua Pluvial.

Tabla 2. Antecedentes bioclimáticos históricos analizados en forma documental.

Primero, la arquitectura antigua era construida por los habitantes de los edificios y no por un diseñador arquitectónico. La mayoría de los sistemas pasivos utilizados eran resultado de patrones de diseño descubiertos durante siglos de experimentación en carne propia de los mismos habitantes. Los patrones de diseño fueron del dominio público y eran copiados por cada nuevo constructor, en cada nuevo edificio construido.

¹⁰¹La Cultura Anasazi construyó poblados y observatorios cuyas soluciones constructivas estaban basadas en el clima de su región. Los anasazi prestaban mucha atención al Sol, la Luna y las estrellas.

Segundo, los patrones de diseño fueron descubiertos sin conocer su funcionamiento real, y fueron aplicados por su eficacia conocida. No había bibliotecas, ni manuales que expusieran un compendio de soluciones aplicables para determinado problema. La información básica pasaba de boca en boca, o era copiada directamente de edificios vecinos. Un sistema era usado porque servía.

Tercero, los conocimientos de soluciones bioclimáticas eran locales, y la mayoría de las veces no servían en los poblados aledaños. Las ideas constructivas descubiertas sólo servían para la realidad cronotópica de un determinado pueblo. Los conceptos adquiridos no servían en otra ubicación.

Cuarto, los habitantes se especializaban en la construcción de edificios bajo los principios constructivos adquiridos, y formaban gremios que guardaban celosamente en secreto los procesos conocidos. Un viajero podía percatarse de las diferencias en la imagen urbana de cada poblado, pero no podía conocer los secretos constructivos que englobaba.

Quinto, el paso del tiempo, y el surgimiento de la arquitectura como oficio, permitió que los constructores pudieran edificar en otros poblados, pero la ausencia de una conciencia profunda de los patrones y condicionamientos bioclimáticos, ocasionó que las soluciones se simplificaran por desconocimiento a simples criterios de adecuación del edificio a las orientaciones necesarias. En el mejor de los casos los nuevos arquitectos copiaban las soluciones encontradas en cada nuevo lugar.

Sexto, inicialmente con el arte, y posteriormente con la técnica, la arquitectura se fue especializando, dando paso a otro tipo de "soluciones" donde se requerían sistemas bioclimáticos para el confort humano. Primero fueron los estilos arquitectónicos, y después la aplicación de sistemas de calefacción y aire acondicionado. La arquitectura se convirtió en "internacional", resumiendo los requerimientos de confort a la posición aproximada de las edificaciones en el terreno.

Séptimo, la formalización de la arquitectura como disciplina no impidió que las soluciones bioclimáticas se dieran en poblaciones pequeñas en todo el planeta. La arquitectura vernácula preservó algunos de los patrones de diseño hasta nuestra época. Existen ingeniosos ejemplos que están siendo descubiertos por los arquitectos en construcciones donde, como "especialistas", no intervinieron.

Octavo, el descubrimiento de nuevas y abundantes fuentes de energía distintas a las obtenidas por los combustibles tradicionales, así como la escasez creciente y alarmante de los hidrocarburos, ha motivado la búsqueda de nuevas soluciones arquitectónicas que aprovechen eficientemente las nuevas expectativas energéticas. La

necesidad forzó la visión de los arquitectos hacia la arquitectura sin arquitectos.

Si la situación actual de la arquitectura bioclimática es ser un tema de constante y creciente interés por parte de los arquitectos de nuestro siglo, y si la situación actual energética del planeta así lo requiere, ¿qué ejemplos existen construidos donde se han aplicado los principios bioclimáticos? ¿qué principios son los más usados?. La respuesta la podemos encontrar después de analizar la información bibliográfica disponible sobre edificios actuales que fueron construidos bajo los lineamientos del diseño arquitectónico bioclimático. Existe una amplia variedad de ejemplos en forma documental, por lo que sólo se mencionarán algunos de los más interesantes.

En los ejemplos enumerados, se puede observar una tendencia de soluciones que buscan calentar el espacio interno. Aunque debe existir ejemplos bibliográficos de sistemas de enfriamiento, los autores enfatizan la publicación de sistemas de aplicación de diseño bioclimático que trabajan para *promover las ganancias* de calor y *resistir su pérdida*. Las estrategias mostradas de calentamiento son útiles en regiones terrestres donde la temperatura es baja. *Esto se puede entender, si se analiza el origen de cada autor.*

Ubicación	Arquitecto	Sistema de aplicación de Diseño.	Principio Utilizado.
Lyme, New Hampshire, EE.UU. 1979.	Don Metz	Híbrido para Calentar.	Asoleamiento Pasivo, con distribución mecánica de aire. Vivienda Semienterrada.
Santa Fe, Nuevo México, EE.UU. 1976.	David Wright.	Pasivo para Calentar.	Vivienda Semienterrada, Construcción en adobe. Asoleamiento Pasivo.
Burnsville, Minnesota, EE.UU. 1979.	John Carmody.	Pasivo para Calentar.	Vivienda Semienterrada, Asoleamiento Pasivo, Ventilación forzada natural.
Minneapolis, Minnesota, EE.UU. 1979.	Michael Dunn.	Híbrido para Calentar.	Vivienda Semienterrada, Asoleamiento Pasivo, Colectores solares para calentar agua.
Newark, Delaware, EE.UU. 1973.	M. Telkes.	Activo para Calentar.	Colectores solares para calentar agua, Celdas Fotovoltaicas para energía eléctrica, Ventilación mecánica.
Tucson, Arizona, EE.UU. 1959.	M. Donovan.	Activo para Calentar.	Colectores solares para calentar agua, Calefacción mecánica.
Aquisgrán, Alemania, 1975.	Labora - torios Philips.	Activo para Calentar.	Colectores solares para calentar agua, Calefacción mecánica.
Aramon, Gard, Francia. 1976.	G. Chouleur.	Activo para Calentar.	Calefacción solar por medio de colectores.
Taos, Nuevo México, EE.UU.: 1975.	Hoppman, Hobbs y Kenin.	Pasivo para Calentar.	Asoleamiento Pasivo, Uso del muro Trombe, Muros de adobe.

Tabla 3. Antecedentes bioclimáticos construidos, analizados de forma documental.

Es notable la ausencia de soluciones para enfriamiento cuyo ejemplo requerimos observar debido a las condiciones geográficas de nuestro país. El uso de una estrategia de enfriamiento es más adecuada para regiones de temperatura elevada.

Otro punto importante, es que la investigación bioclimática en el diseño arquitectónico tuvo sus raíces en la década de los cincuenta, pero la utilización del método experimental, la construcción y verificación de ejemplos diseñados, tuvo un auge en la década de los setentas. Actualmente la tendencia de experimentación del diseño arquitectónico bioclimático se ha incrementado. Una problemática visible, es que la experimentación se sigue centrando en países con predominio de problemas climáticos que requieren más soluciones de calefacción que enfriamiento. Se necesitan especialistas en el campo de la arquitectura bioclimática que se dediquen a analizar, experimentar, y publicar ejemplos de sistemas bioclimáticos de enfriamiento solar, de sistemas que *promuevan la pérdida* de calor *evitando las ganancias*. Se necesitan arquitectos investigadores de alto compromiso con el futuro.

En la elección de los materiales de construcción vernáculos influye determinantemente las propiedades térmicas y su disponibilidad. No importan realmente la durabilidad, la plasticidad, la fragilidad o la persistencia cromoháptica del material constructivo seleccionado.

Sin embargo, los arquitectos actuales tratan incansablemente de copiar los principios constructivos vernáculos en sus edificios, aplicando los materiales constructivos naturales que usaron directamente los pobladores durante siglos. Su única innovación consiste en generar variaciones formales de lo construido vernáculamente, que la mayoría de las veces no funcionan adecuadamente ni se perciben agradables. En nombre del regionalismo y de un romance mal entendido, se incurre en contradicciones cronotópicas que derivan en formalismos anacrónicos, que lo único que demuestran es la ignorancia y el aislamiento de la profesión del arquitecto ante la tecnología mundial desarrollada y actualmente disponible.

Si se desea aplicar los principios de diseño vernáculos en la arquitectura actual, se deben analizar profundamente los patrones de diseño en función de los condicionamientos regionales a los que responden. Si se desea construir sistemas edificios utilizando los materiales constructivos derivados de la arquitectura vernácula, es necesario analizar profundamente las posibilidades industriales avanzadas, reales y actuales de cada material¹⁰².

¹⁰²La mayoría de los materiales usados en la arquitectura vernácula son productos vegetales recolectados en el lugar. La celulosa derivada de ellos, puede ser una solución industrial viable en el futuro.

2.2 Los Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos en el Futuro de la Arquitectura: Nanotecnología, Biomimetismo y Genética.

Si la situación actual de nuestras ciudades presenta una carencia pronunciada de espacios habitables adecuados, y si la situación actual demográfica del planeta exige una solución práctica de producción, que abata totalmente el déficit, ¿qué intentos se están haciendo mundialmente para abatir ese déficit? ¿qué inventos y descubrimientos podrán resolver el problema? ¿qué materiales constructivos novedosos pueden resolver mejor problemas constructivos actuales?.

La respuesta la podemos encontrar después de analizar la información bibliográfica disponible sobre los avances tecnológicos e industriales y sus alcances actuales logrados en todo el mundo. Existe una amplia variedad de ejemplos en forma documental, por lo que sólo se mencionarán algunos de los más interesantes.

Aunque el futuro cercano plantea como reto el uso de mayores variedades y aplicaciones de plásticos en la arquitectura, la investigación de antecedentes bibliográficos de las nuevas tendencias y descubrimientos en el campo de la investigación de materiales, permite definir la incursión seria y enriquecedora de tres ramas de la ciencia, que *están definiendo realmente los materiales constructivos del próximo milenio*.

Éstas disciplinas son la Ingeniería Aeroespacial, la Ingeniería Bioquímica y la Ingeniería Genética. Todas son ingenierías establecidas, y como tales, su objetivo es el de traducir en *realizaciones prácticas* el conjunto de conocimientos científicos y tecnológicos relativos a su especialidad. La Investigación de Materiales ha adquirido el rango de ciencia y se ha convertido en una tarea fundamental de todos los niveles de producción mundial, que perfeccionará nuestra calidad de vida futura.

La Ingeniería Aeroespacial es el resultado de un conjunto de conocimientos científicos fundamentales que llevaron primero al hombre a volar, y luego, a explorar el espacio. En sus inicios, la aeronáutica caminó separada de los primeros intentos del hombre por generar transportes viables para salir al espacio. Fueron Robert H. Goddard y K. E. Tsiolkovsky quienes inventaron el cohete espacial, que Wernher Von Braun perfeccionaría en 1942.

Pareciera que desde sus inicios, la Ingeniería Aeroespacial ha caminado lejos del interés y el terreno del arquitecto. Pero esto no es totalmente cierto, y curiosamente, y no por todos conocido, el personaje que inspiró más el trabajo de Goddard y Tsiolkovsky fue un arquitecto alemán.

Ubicación.	Protagonista.	Disciplina o Especialidad.	Material o Procedimiento Descubierto.	Aplicación Posible en la Industria de la Construcción.
Instituto de Estudios Avanzados de Princeton.	Freeman J. Dyson.	Ingeniería Biológica y Genética.	Nanotecnología e Ingeniería Genética de Bacterias.	Materiales Inteligentes, ultraresistentes. Extracción Limpia de Materias Primas.
Universidad de Wyoming.	Randy Lewis.	Ingeniería Bioquímica.	Análisis de la Seda Arácnida.	Cables Tensores más resistentes que el acero.
Universidad de Mississippi.	Steven Case.	Ingeniería Bioquímica.	Análisis Biomimético.	Creación de Nuevos Materiales Compuestos.
Universidad de Washington.	Christopher Viney.	Investigación de Materiales.	Análisis de la Seda Arácnida.	Creación de Textiles ligeros y resistentes para Lonarías.
Universidad de Princeton.	Ilhan Aksay.	Investigación de Materiales.	Análisis de la Concha Marina.	Creación de Cerámicas Compuestas Irrompibles.
Universidad de Princeton.	Ann Van Orden.	Metalurgia.	Análisis del Cuerno del Rinoceronte.	Materiales de Construcción Autoreparables.
Universidad de la Columbia Británica.	John Gosline.	Zoología.	Análisis Biomimético.	Aplicación de Tejidos Naturales a los Materiales de Construcción.
Universidad de Alabama.	Dan Urry.	Biofísica Molecular.	Análisis de las Proteínas Animales	Análisis de las Proteínas Animales
Natick U.S. Army Research Center.	David Kaplan.	Investigación de Materiales.	Análisis de la Caparazón de Cucarachas.	Creación de Plásticos resistentes y no disolubles.
Universidad Penn State.	Rustum Roy.	Investigación de Materiales.	Aleaciones de Titanio de Estructura Biomimética.	Cerámicas irrompibles.
Universidad de Arizona.	Paul Calvert.	Investigación de Materiales.	Análisis de la Dentadura de Roedores.	Cerámicas Irrompibles
Los Alamos National Laboratory.	NASA	Ingeniería Aeroespacial	Materiales Super Conductores.	Conductores electricos de baja o nula resistencia.
Ames Research Center NASA.	Alan Globus.	Ingeniería Aeroespacial	Nanotecnología.	Materiales Nanoestructurados e Inteligentes.
Instituto de Tecnología de California.	Eric Drexler.	Ingeniería Aeroespacial	Nanotecnología.	Producción de Materiales Inteligentes.
Universidad de California del Sur.	Ari Requicha.	Robótica Molecular.	Nanotecnología.	Materiales de Construcción Inteligentes.
Natick U.S. Army Research Center.	Gary Hagnauer.	Investigación de Materiales.	Materiales Compuestos.	Nuevos Materiales Compuestos para la construcción.
Universidad de Massachusetts, y M.I.T.	David Tirrell.	Ingeniería Bioquímica y Genética.	Síntesis y Obtención de la Proteína de la Seda Arácnida.	Fabricación de Textiles Ultraresistentes.
Instituto de Investigaciones en Materiales, U.N.A.M.	M. J. Yacamán.	Investigación de Materiales.	Materiales Nanoestructurados.	Materiales Ultraligeros y Superresistentes.
Instituto de Investigaciones en Materiales, U.N.A.M.	G. Hernández.	Investigación de Materiales.	Materiales Compuestos de Celulosa.	Plásticos basados en productos vegetales.

Tabla 4. Antecedentes bibliográficos de las nuevas tendencias y descubrimientos en el campo de la investigación de materiales. Todos son ejemplos de investigaciones reales actualmente en proceso.

El arquitecto *Walter Hohmann* desarrolló y publicó en 1925 un estudio puramente matemático referente a las trayectorias que los cohetes interplanetarios debían seguir en el espacio, tarea que en esa época era aún un tema de ciencia ficción. Actualmente, en el vocabulario técnico de la era espacial se conoce como "*Órbitas de Hohmann*" a las rutas más prácticas y económicas que se deben usar para cruzar el Sistema Solar usando la fuerza gravitacional. La intrépida aportación de éstos hombres fundó una disciplina científica, que a final de nuestro siglo, ha revolucionado cada conocimiento y actividad humana en el planeta.

Para llevar al hombre al espacio, la Ingeniería Aeroespacial ha desarrollado inventos y descubrimientos que abarcan todas las áreas científicas y tecnológicas. En el campo de los materiales constructivos, la carrera aeroespacial logró avances en la metalurgia y la investigación de nuevos materiales. Los aviones que fueron inicialmente contruidos con madera y tela, requirieron de la adopción de aleaciones metálicas ligeras a base de aluminio y acero¹⁰³. Con el incremento de la temperatura generada por la fricción exterior durante el traslado a velocidades supersónicas, o el reingreso abrupto a la atmósfera terrestre, los materiales constitutivos de los aviones y cohetes incluyeron, cada día, aleaciones novedosas con otros metales distintos y raros como, por ejemplo, el titanio y el berilio, que antes ni siquiera se fabricaban industrialmente.

Todas las limitaciones encontradas empíricamente de las aleaciones mencionadas dieron comienzo al estudio de un nuevo tipo de materiales constructivos llamados **Materiales Compuestos**. *Los materiales compuestos son combinaciones de sustancias provenientes de los cuatro grupos de sólidos mencionados: Los metales, las cerámicas, los semiconductores y los polímeros*. Las combinaciones son generalmente creadas, primero en laboratorio, y luego industrialmente, mezclando diversas materias de índole y propiedades complementarias, por cuya razón posee el nuevo material características especiales. Por lo anterior, la Ingeniería Aeroespacial ha permitido el descubrimiento de tres nuevos tipos de materiales sólidos adicionales: Los compuestos de matriz de polímeros, los compuestos de matriz de metal y los compuestos de matriz de cerámica. Los materiales compuestos son la primera aportación seria de la Ingeniería Aeroespacial al campo de la construcción.

Casi todos los nuevos materiales mencionados consisten en fibras especiales, resistentes, reforzadas, y aglutinadas con sustancias metálicas, cerámicas, semiconductoras o polímeras. La fibras pueden ser continuas o discontinuas, entretejidas dentro del material aglutinante, sirviendo como estructura o refuerzo. Los materiales

¹⁰³El primer camino fue la búsqueda de aleaciones metálicas ligeras y resistentes, consistentes en aluminio y hierro mezclado con óxidos, carburos y sulfuros. Después se lograron combinaciones de acero con carburo de tungsteno y titanio.

compuestos usan generalmente uno o dos tipos de resinas sintéticas

Se puede decir que el concreto armado es un material compuesto, al cual confluyen las propiedades funcionales del acero y el concreto simple para producir un material resistente a diversos esfuerzos combinados. Los nuevos materiales compuestos son similares al concepto del concreto armado. En el caso de los materiales compuestos, la matriz, en vez de estar constituida de cemento, es de materias plásticas, tales como los poliésteres, el polivinil y la resina epóxica. Los materiales aglutinados son generalmente fibras minerales, vegetales o sintéticas. El carbono¹⁰⁴, el boro y el vidrio son ejemplos de fibras minerales. El poliéster y las poliamidas son fibras sintéticas.

La resistencia de los materiales compuestos a los esfuerzos mecánicos es muy superior¹⁰⁵ a las aleaciones metálicas porque son más ligeras, y pueden generar *piezas monolíticas* de gran tamaño con contornos complicados. Los materiales compuestos son ideales en sistemas constructivos prefabricados en cuanto a los requerimientos de plasticidad, moldeabilidad y versatilidad, ya mencionados. Desgraciadamente, de los materiales compuestos, sólo la fibra de vidrio ha sido aceptada en la industria de la construcción para la fabricación de moldes y piezas especiales únicamente¹⁰⁶.

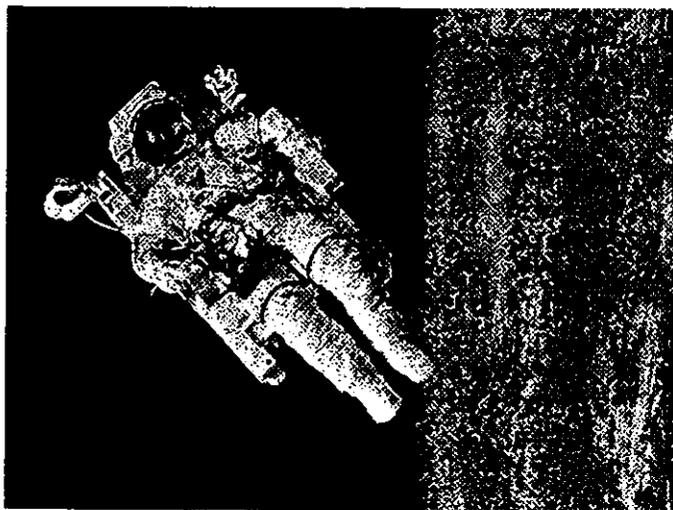


Ilustración 13. La Ingeniería Aeroespacial ha sido detonador del desarrollo tecnológico en el mundo. Para esta área de conocimiento, se han inventado nuevos materiales y procedimientos constructivos, que en un futuro integraremos a la arquitectura.

Un segundo campo de desarrollo de materiales novedosos ha sido generado por la Ingeniería

¹⁰⁴La fibra de carbono es un material compuesto que sustituyó hace veinte años a la madera en la construcción de cohetes de espacio.

¹⁰⁵La capacidad de resistir 1650° centígrados, hace de las losetas de Matriz Cerámica del Transbordador Espacial, colocadas en su parte inferior, su protección principal en el reingreso a la atmósfera.

¹⁰⁶En las industrias automotriz y náutica, la fibra de vidrio se convirtió en la materia prima más importante hace veinticinco años.

Aeroespacial. La tecnología espacial a diversificado los usos prácticos de los materiales semiconductores. Como ya sabemos, el uso inicial de todos los materiales semiconductores fue el de trabajar como aislantes naturales eléctricos. Con el desarrollo de la electrónica, la cibernética y la informática, **la aplicación de materiales semiconductores en su modo iónico es necesario para el aprovechamiento eficiente de la energía eléctrica convencional y la derivada del sol.**

Para las Sondas Espaciales, se han diseñado paneles consistentes en múltiples celdas fotovoltaicas construidas de capas combinadas de boro, silicio y fósforo. El resultado es un material sólido compacto capaz de generar 5 volts y un décimo de ampere por pulgada cuadrada. El transistor, el fotodiodo y el diodo convencional¹⁰⁷, contruidos de la misma manera, permiten controlar el paso de la electricidad por un circuito eficientemente. Para controlar servomecanismos¹⁰⁸ en Naves Espaciales, existen aleaciones metálicas combinadas con materiales semiconductores que permiten, con la sencilla aplicación o retiro de un microvoltaje, variar la longitud de un cable instantáneamente hasta en un cinco por ciento de su longitud total¹⁰⁹. Para enfriar o calentar cualquier tipo de fluido, la industria espacial ha fabricado placas de matriz semiconductoras que, compacta y económicamente, conectando sus extremos a una corriente, generan suficiente calor o frío en una ú otra de sus caras, permitiendo al usuario utilizar el mismo panel para cualquiera de las dos funciones que desee¹¹⁰.

El uso de los Iones ha permitido en Francia generar aplicaciones textiles industriales sumamente interesantes. Un ejemplo es la fabricación de camisetas de algodón común, cuya tela pasa por un proceso de ionización con átomos de cobre y zinc, y que permite que la prenda de vestir no se manche ni absorba el sudor. Los iones cambian las propiedades absorbentes del algodón, volviéndolo repelente a los líquidos.

La mayoría de los materiales semiconductores o iónicos son aplicables actualmente en las instalaciones eléctricas, hidráulicas, sanitarias y especiales de un sistema edificio. El arquitecto debe buscar integrarlos en los sistemas constructivos intentando generar componentes modulares multifuncionales. Se deben generar elementos constructivos que dejen de ser inertes divisores del espacio para adquirir una función activa dentro de la arquitectura del futuro.

Un tercer campo de desarrollo de materiales constructivos en la Ingeniería Aeroespacial es, tal vez, el más fascinante de los caminos planteados para el futuro de la humanidad.

En los últimos años, la investigación de tecnologías espaciales ha desarrollado un nueva ciencia llamada **Nanotecnología**. La nanotecnología tiene como objetivo múltiple la simulación y fabricación de materiales constructivos, circuitos electrónicos, equipo computarizado, maquinaria especializada y naves espaciales construidas a base de bloques moleculares a escalas nanométricas. El objetivo general de la nanotecnología es **construir máquinas autoreproductivas y funcionalmente eficientes a partir de la unión programable de átomos diversos, utilizando covalencias naturales y fuerzas de Van der Waals**¹¹¹. La herramienta para mover y ensamblar los átomos en moléculas de formas exclusivas y especializadas determinadas por el diseñador nanométrico, es posible gracias al descubrimiento accidental en 1989, de que cierto tipo de microscopio electrónico diseñado por I.B.M., podía literalmente levantar los átomos, uno a uno, cada vez. Para probar el descubrimiento, los científicos encargados del proyecto escribieron con 35 átomos de xenón, las siglas de la compañía I.B.M. a escala infinitesimal. Posteriormente construyeron un mapa del mundo a escala nanométrica a base de átomos de oro. En la Universidad de Stanford escribieron la página de un libro llamado *A tale of Two Cities* con 25,000 átomos formados generando letras legibles.

La capacidad de manejar los átomos de ésta manera, generó experimentos inmediatos en la fabricación de microcircuitos similares a los contruidos en los microprocesadores. Después construyeron engranes y motores nanométricos¹¹² que piensan hacer funcionar pronto con la ayuda de la electricidad estática y el magnetismo. Aunque ninguna pieza funciona aún, una de las metas es construir robots de tamaño celular que se introduzcan en el torrente sanguíneo humano, para destruir depósitos grasos en las paredes de las cavidades sanguíneas.

La nanotecnología persigue construir estructuras moleculares novedosas, ultra resistentes y densas, que permitan la creación, átomo por átomo, de nuevos materiales compuestos y aleaciones metálicas constructivas, con cualidades y propiedades físicas nunca antes sospechadas. Si en el futuro, la nanotecnología cumple ligeramente con sus objetivos trazados, los materiales constructivos disponibles en el próximo milenio serán increíblemente mejores que cualquier sustancia conocida actualmente por el hombre.

¹⁰⁷El diodo común es el equivalente eléctrico de una válvula hidráulica de no retorno, y consiste en un emparedado de dos capas de plásticos, uno consistente en moléculas de silicio y boro (tipo P - positivo), el otro de silicio y fósforo (tipo N - negativo). El transistor común consiste en tres capas: P, N y P.

¹⁰⁸Los servomecanismos son usados por la cibernética para controlar y manejar un instrumento robótico.

¹⁰⁹El material se llama comercialmente Nitinol.

¹¹⁰El material se llama Placa de Efecto Peltier.

¹¹¹Las fuerzas de Van der Waals aparecen en muy pocas y raras uniones moleculares, y consiste en una relación temporal de valencias opuestas en signo.

¹¹²Un nanómetro es la mil millonésima parte de un metro.

La **Ingeniería Bioquímica** es la ciencia que estudia el comportamiento de los compuestos químicos de origen orgánico que generalmente se producen en los tejidos celulares animales y vegetales. La **Química Orgánica** estudia las moléculas creadas por los seres vivos. Todos los compuestos orgánicos contienen carbono en mayor o menor escala. La mayoría de los compuestos basados en el carbono, utilizan la unión covalente con materiales diversos. Como vimos anteriormente, los **polímeros** son los materiales sólidos que representan en mayor número a las materias orgánicas. En los hidrocarburos los átomos de carbono se combinan con los átomos de hidrógeno únicamente.

La química orgánica tuvo sus orígenes en el siglo XIX, cuando el químico alemán Wöhler sintetizó la urea por calentamiento del cianato amónico. A partir del momento en que fue sintetizado en el laboratorio el primer compuesto orgánico, se ha realizado un enorme esfuerzo mundial para aislar, identificar y sintetizar todos los compuestos que se originan en plantas y animales. Los compuestos orgánicos más importantes son los derivados del petróleo, el carbón, las proteínas, las grasas, los carbohidratos, los antisépticos, los antibióticos, los alcoholes, las enzimas y una gran cantidad de productos naturales útiles.

Definiéndose a la Bioquímica como la química de los seres vivos, ésta abarca una gran extensión de productos naturales que realmente no son su meta. El **objetivo principal** de la Bioquímica es conocer a detalle los cambios químicos que suceden dentro de las células para proporcionar energía y hacer posible las funciones vitales, como lo son la reproducción y el envejecimiento. La bioquímica parte de que si se conocen las reacciones celulares, entonces podrán controlarse e inclusive reproducirse artificialmente. Pero, ¿qué tiene que ver la Ingeniería Bioquímica con la arquitectura o la construcción en general?.

Basándose en el concepto anterior, la Ingeniería Bioquímica ha definido una nueva e interesante disciplina científica y tecnológica llamada **Biomimetismo**. El biomimetismo es un campo profundo y revolucionario de la investigación de nuevos materiales constructivos que actualmente tiene mucha importancia en la comunidad científica mundial. *El biomimetismo trata de crear nuevos materiales a través de dos caminos fundamentales:*

1. El análisis de los tejidos y estructura interna de los diseños naturales biológicos.
2. El análisis del funcionamiento de las proteínas naturales complejas.

Las proteínas están entre las sustancias químicas más complejas conocidas. Juegan un papel primario en los procesos vitales de todos los seres vivos. Los músculos, la piel, el pelo, los tendones, las uñas, los órganos vitales, las hormonas, las enzimas y los anticuerpos están constituidos en gran parte por proteínas. La reproducción, el crecimiento

y la transmisión de características hereditarias llevan consigo la síntesis de proteínas. Las moléculas de proteínas son muy grandes, y contienen en su seno átomos de nitrógeno, oxígeno, carbono e hidrogeno. Muchas proteínas contienen también azufre, fósforo, hierro, manganeso, cobre o yodo. Los aminoácidos naturales son proteínas complejas con las cuales se conforman el ácido ribonucleico (A.R.N.) y el ácido desoxirribonucleico (A.D.N.), moléculas que permiten el desarrollo de la vida en nuestro planeta y la transmisión de caracteres genéticos. **Todos los tejidos naturales deben su forma a las proteínas conjugadas en estructuras fibrosas resistentes.** Hay numerosos tejidos naturales que están siendo investigados ampliamente para crear nuevos materiales similares de tipo constructivo.

La **Seda de la Araña** es una fibra natural que se produce con una proteína diluida en agua, que al contacto con el aire, genera una sustancia más fuerte que el acero, más elástica que el nylon y más dura que el kevlar¹¹³. La seda arácnida comienza en el vientre de la araña dentro de una solución proteínica de agua, y lo único que hace la araña es expulsarla. En el proceso mencionado, las proteínas que eran solubles se convierten automáticamente en fibras resistentes insolubles. Hay grandes planes para la seda arácnida: El diseño de textiles resistentes, que sirvan por ejemplo para construir paracaídas ligeros; y la generación de cables estructurales ultra resistentes para la construcción de puentes más largos que el Golden Gate de San Francisco.

Los **Dientes de los Roedores** son las cerámicas naturales más resistentes que se conocen en el mundo. Su fortaleza es tal que no existe cerámica artificial que iguale sus propiedades. Las cerámicas fabricadas por el hombre son altamente frágiles y propensas a las fracturas, mientras que las cerámicas biológicas tales como los dientes, no lo son. Los dientes de los roedores son extremadamente cortantes y no pierden el filo fácilmente. Se tiene previsto duplicar con óxido de titanio la estructura molecular del diente de roedor para generar una nueva familia de herramientas industriales ultra resistentes y durables. También se piensa usar éste material para construir reemplazos óseos para el ser humano.

El **Cuerno del Rinoceronte** es un compuesto fibroso que tiene propiedades remarcables de autosanamiento. Si una pelea entre rinocerontes causa agrietamiento en el cuerno, la composición celular es capaz de reparar las fisuras automáticamente. La organización estructural del cuerno de rinoceronte ha sido copiada con aleaciones metálicas en las alas del avión F-117 Stealth, las cuales permiten un ocultamiento efectivo al radar convencional. En el futuro se piensa usar éste material para construir coches cuya carrocería se auto repare después de un impacto, o fabricar componentes estructurales sismoresistentes que reparen fisuras causadas por deformaciones excesivas.

¹¹³Material fibroso compuesto, super ligero y resistente, que se usa en los chalecos antibalas.

La Concha Marina permite apreciar en su superficie una textura agradable que a la vez es sumamente resistente. Bajo el microscopio, la concha marina muestra paredes similares a los muros de piedra laja construidos con mortero. En éste caso, múltiples cristales de carbonato de calcio, succionado del agua salada, sirven como lo hacen las piedras, mientras que una pequeña capa de azúcares complejos actúan como un mortero eficiente entre ellos. La concha de mar es tan fuerte como las más avanzadas cerámicas artificiales. Si un pequeño y sencillo diseño consistente en el principio piedra - mortero puede generar una armadura natural dura, se piensa que materiales tales como el óxido de aluminio y el carburo de silicón, aglutinados con proteínas, pueden lograr mejorarla.

El Gusano de Seda produce una proteína que combinada con la fibronectina, una proteína sanguínea que promueve la adhesión celular, están siendo utilizadas industrialmente¹¹⁴ para producir una pintura especial, que al ser aplicada sobre laminados plásticos como el poliéster, podrán generar un recubrimiento barato que se sienta y

Si la Ingeniería Bioquímica logra o no sus objetivos principales está fuera de discusión, porque lo que lo más importante que se ha logrado, es enriquecer la imaginación de los científicos que están dedicados a la invención de nuevos materiales compuestos. *El Biomimetismo plantea grandes posibilidades reales de nuevos materiales en el futuro de la construcción, además de establecer líneas de investigación tecnológicas prometedoras.*

La Ingeniería Genética es la parte de la biología que estudia la herencia de los caracteres anatómicos, citológicos¹¹⁵ y funcionales entre padres e hijos. Fundada por el austríaco Mendel en 1865, pasó de un estado teórico puro a la aplicación práctica en 1952, cuando John Watson descubre las moléculas de A.D.N. dentro de todos los seres vivientes, comprobando que son la base de la transmisión hereditaria. El descubrimiento a permitido un avance significativo en el conocimiento y tratamiento de enfermedades, antes incurables y peligrosas. La genética también ha permitido conocer y comprobar el desarrollo evolutivo natural de los seres vivos propuesta por Charles Darwin. La molécula de ácido desoxirribonucleico se convirtió de repente en una *enciclopedia biológica informativa* y en una *extraordinaria y potente medicina*. La Ingeniería Genética se ha convertido en una nueva tecnología que nos permite mejorar a la naturaleza. Los científicos han descubierto que determinadas secuencias de aminoácidos son responsables de ciertas funciones específicas en los seres vivos. Los aminoácidos funcionan como un *código de un programa Informático* que activa a la computadora biológica que todos tenemos. Se ha

¹¹⁴La compañía que lo fabrica se llama Protein Polymer Technologies, y está ubicada en California, EE.UU.

¹¹⁵Referentes a la célula y sus funciones.

descubierto que modificando algunas secuencias, las funciones fisiológicas de un organismo pueden ser cambiadas.

Éste es el principio que relaciona a la Ingeniería Genética con la arquitectura, y en especial con el campo de la investigación de nuevos materiales constructivos. *La ingeniería genética está buscando generar procedimientos eficientes y limpios, de extracción, producción y obtención industrializada de materias primas para la ciencia y la tecnología. Su objetivo es rediseñar genéticamente microorganismos unicelulares para que tengan la función natural de producir un material específico en cantidades industriales.*

Aunque parece imposible a primera vista, la realidad es que el ser humano ha usado a los microorganismos unicelulares siempre, a lo largo de su historia, para producir alimentos tan comunes como el vino, el yoghurt, los quesos, las cremas y las cervezas. El proceso se llama Fermentación y es primordialmente ejecutado por las bacterias. La fermentación es una reacción química que transforma las materias orgánicas y se debe a enzimas segregadas por las bacterias. La cerveza es fermentada por un hongo microscópico vulgarmente llamado levadura. El número de microorganismos conocidos capaces de provocar fermentaciones naturales es enorme, por lo que la ingeniería genética tiene un gran campo de investigación y experimentación.

La Ingeniería Genética trata de producir microorganismos dotados de sistemas enzimáticos que les permitan ingerir y excretar las sustancias químicas adecuadas elegidas a nuestro criterio. En el futuro habrá fábricas de hierro que funcionen con grandes tanques de agua marina natural almacenada con microorganismos que la fermenten para obtener esa sustancia. Entre otras cosas, se busca producir petróleo natural a través de la fermentación de diversos compuestos inorgánicos. Las bacterias del futuro se convertirán en nuestros obreros y principales mineros.

Los organismos mineros artificiales no actuarían a la manera de los mineros humanos. Muchos se diseñarán para trabajar en el océano. Por ejemplo, las ostras marinas podrían extraer el oro del agua de mar y secretar perlas doradas. Los corales rediseñados constituirán arrecifes artificiales ricos en cobre o magnesio. Otros microorganismos mineros excavarán en la tierra, el lodo y la arcilla, concentrando en sus propios cuerpos aluminio, estaño o hierro, para después excretarlos de manera conveniente para su recolección.

Casi todas las materias primas conocidas necesarias para nuestra existencia pueden ser obtenidas directamente del océano, el aire o la arcilla por medio del proceso de fermentación industrial. Hay ejemplos conocidos en laboratorio que están resultando en soluciones

prácticas para el futuro. En el caso del diseño biomimético de la seda de araña antes mencionado, el Dr. David A. Tirrell de la Universidad de Massachusetts ha modificado genéticamente a un microorganismo, históricamente parásito del ser humano, y lo ha convertido en un obrero amigo e inofensivo. La *Escherichia Coli* es una bacteria que causa trastornos estomacales y que fue rediseñada para producir artificialmente en cantidades suficientes la proteína que constituye la seda de la araña. El objetivo final de su experimento es producir una colonia de bacterias que produzca polímeros sintéticos por medio de la síntesis de proteínas.

La *Ingeniería Genética* perfeccionará los procesos industriales futuros, y gracias a ella, los arquitectos tendremos a nuestro alcance nuevos materiales atractivos que podremos aplicar en nuestros sistemas constructivos en los edificios de la arquitectura del futuro.

2.2.1 Bajo el Enfoque de la Ingeniería Molecular: La Nanotecnología en la Arquitectura.

La obtención de nuevos, singulares y asombrosos materiales descubiertos a través de la Nanotecnología, están modificando nuestra comprensión del mundo y nuestro futuro inmediato. La Arquitectura tendrá que utilizar estos materiales, tarde o temprano, para concebir el espacio que habitaremos en el Siglo XXI.

La arquitectura del Siglo XX posee diversas características que la hacen distinguible de las creaciones arquitectónicas realizadas en el renacimiento florentino, o en el gótico inglés, o en el antiguo Egipto. Cualquiera persona podría deducir el origen de tal o cual arquitectura dependiendo de la construcción que observe. ¿Cuáles son esas características que permiten al ojo menos entrenado identificar estas arquitecturas? Decía Villagrán en sus tratados sobre Teoría de la Arquitectura¹¹⁶, que el espacio arquitectónico es una expresión bivalente donde intervienen principalmente lo formal y lo funcional.

Un observador de la arquitectura puede identificar el origen del edificio en cuestión percibiendo, consciente o inconscientemente, las características formales y funcionales que éste detenta. Villagrán afirmaba que los estilos y tendencias acontecidos en la historia de la arquitectura, las formas arquitectónicas construidas resultantes, eran producto de dos factores fundamentales: Su habitabilidad

Foto de © Brian Blake / Photo Researchers, Inc.



Ilustración 14. El Templo Griego, hecho de mármoles blancos, fue construido con sistemas constructivos específicos para cumplir con las necesidades básicas planteadas por su fin causal. La utilización del mármol como material constructivo fue determinante en su concepción espacial.

(Fin Causal) y el espacio (Materia Prima Arquitectónica), los cuales no podrían materializarse sin la utilización de un procedimiento específico llamado Composición Espacio Edificatoria. En la historia de la humanidad, el fin causal siempre ha sido el mismo, pero ha cambiado la forma de la interpretación del espacio y su procedimiento específico de creación. En un edificio histórico determinado, el grado y tipo de habitabilidad están definidos fundamentalmente por el contexto histórico social de la cultura a la que pertenece. De esta forma podemos comprender la existencia de los salones de baile en los palacios franceses del Siglo XVII, o la verticalidad del espacio interno de una catedral gótica. Los espacios resultantes en ambos ejemplos son singularmente identificables, pero ninguno de ellos podría haberse realizado sin un proceso específico de creación que le diera forma y funcionalidad.

En la historia de la arquitectura, los procedimientos constructivos y los materiales de construcción han determinado en mucho las características formales y funcionales resultantes de cada edificio. Los Sistemas Constructivos descubiertos y los Materiales disponibles en cada región y época influyeron en las soluciones ofrecidas en cada tendencia o estilo. Los griegos hicieron del mármol blanco su material predilecto y crearon procesos constructivos para explotarlo. Los romanos necesitaron una rápida expansión de su cultura a lo largo de su imperio, e inventaron el concreto para producir múltiples templos rápidamente. Nuestro siglo se ha distinguido con creaciones arquitectónicas que fueron ideadas con materiales que predominantemente han sido desarrollados y descubiertos en los últimos doscientos años. En la actualidad, estos materiales han sido ya explotados al máximo mediante la creación de innumerables procedimientos edificatorios inventados por sus constructores, y que han permitido generar las formas singulares que distinguen a la arquitectura del Siglo XX.

José Villagrán mencionó acertadamente en su momento, que el encontrar un nuevo procedimiento constructivo o descubrir un nuevo material, modificaría definitivamente todo concepto formal o funcional de un espacio, e inclusive, dependiendo del hallazgo, de toda nuestra definición general de arquitectura. En un momento determinado, toda arquitectura concebible se vería influenciada por el descubrimiento de un nuevo y extraordinario material. Al analizar lo anterior

¹¹⁶Op. Cit., pp. 41 - 47.

descubrimos en Villagrán a un visionario, que con su interpretación personal de la arquitectura nos ha acercado a la comprensión de una realidad palpable próxima a ocurrir en el siguiente milenio.

2.2.1.1 Nuevas Ideas, Nuevas Tecnologías

Nuestro siglo se ha caracterizado por el amplio desarrollo de la ciencia ocasionado fundamentalmente por los grandes y maravillosos descubrimientos efectuados sobre nuestro universo. El descubrimiento de lo más pequeño y lo increíblemente majestuoso, ha permitido definir los postulados que rigen nuestra ciencia, permitiéndonos comprender nuestro entorno y a nosotros mismos. El impactante encuentro del hombre con la inmensidad del cosmos y su íntimo acercamiento a los secretos de la materia, han modificado su propia conciencia y sus relaciones con su misma comunidad.

En cuanto a materiales se refiere, las personas del Siglo XIX difícilmente entendían las razones de porqué un sólido era sólido o porque el sol y las estrellas brillaban. Los científicos no conocían las bases y leyes que rigen el comportamiento de la materia. En el Siglo XX, nuestra ciencia ha descubierto al átomo y sus moléculas, cuyo comportamiento conocemos y predecimos con la ayuda de herramientas, tan comúnmente entendidas y usadas actualmente, como lo son la física, la química, las matemáticas, la mecánica cuántica, la biología y la relatividad.

La ciencia ha producido tecnología basada en sus ideas, teorías y leyes fundamentales. Los diseñadores de estas tecnologías, generalmente ingenieros, se basan en el conocimiento producido por los científicos. Por su parte, los científicos utilizan las herramientas creadas por estos diseñadores para seguir investigando. Existe en nuestra cultura una estrecha e íntima colaboración e interdependencia entre la ciencia y la tecnología¹¹⁷.

Tanto la ciencia como la tecnología utilizan los mismos principios de trabajo: Ambos laboran con descripciones matemáticas, llamadas modelos, de las leyes naturales y comprueban sus hipótesis con la experimentación directa. Es por ello que a menudo las personas confunden la evolución de la tecnología con la de

Foto del I.N.B.A., Secretaría de Educación Pública.



Ilustración 15. El Arq. José Villagrán García fue un visionario de su época, al sostener que en la medida en que nuevos materiales y procedimientos constructivos aparecieran, nuestra concepción general de la arquitectura cambiaría definitivamente.

la ciencia. Es casi imposible predecir el descubrimiento de un conocimiento científico, más sin embargo, el desarrollo de la tecnología puede ser predecido basándose en las mismas leyes fundamentales que la ciencia ha descubierto. El enfoque prospectivo es el motor de diseño de toda tecnología, permitiendo a sus diseñadores prever y proyectar nuevos desarrollos, basándose siempre en las capacidades y hechos presentes.

Actualmente existen ciertas tecnologías novedosas que están moldeando definitivamente nuestra concepción del futuro probable de la humanidad, un futuro que afecta a todas las áreas de conocimiento, incluido nuestro campo de trabajo: La arquitectura. Las tecnologías que afectan a nuestra disciplina están íntimamente ligadas con el dominio de la materia que los científicos nos han proporcionado con sus descubrimientos. Las nuevas tecnologías permitirán a la arquitectura contar con increíbles herramientas y materiales para conseguir su fin causal en el próximo milenio.

2.2.1.2 Dos Mentes, Una Misma Visión del Futuro

En el campo de la física moderna, dos personalidades se han distinguido por ofrecer una visión del futuro que rige actualmente las condiciones y objetivos de la Investigación de Materiales. Uno es el Físico Richard P. Feynman, el otro es el Físico Teórico Freeman J. Dyson. Ambos han hecho aportaciones importantes al acervo de conocimientos de la humanidad. Por ejemplo, Feynman obtuvo el Premio Nobel de Física en 1965, por su investigación en la electrodinámica cuántica que contribuyó al entendimiento de las partículas elementales dentro del campo de la física de alta energía. Por otro lado, Dyson publicó en 1979 su reconocida teoría que trata sobre el deterioro de la materia ordinaria en un universo cuya característica principal fuera una continua y permanente expansión. Sin embargo, en el campo que nos ocupa, la creación de nuevos e increíbles materiales, los dos mostraron en su momento una concepción visionaria del futuro.

El 29 de diciembre de 1959, Richard P. Feynman impartió una ponencia en la reunión anual de la American Physical Society en el Instituto Tecnológico de California (Caltech), donde el trabajaba como investigador. El texto

¹¹⁷K. Eric Drexler, *Engines of Creation*, Capítulo 3, Science vs. Technology.

íntegro de la conferencia ofrecida estaba destinado a explicar los problemas y ventajas de manipular y controlar los objetos de la naturaleza a escalas microscópicas. En primera instancia habló de *escribir con átomos* todas las páginas de la famosa Enciclopedia Británica sobre la cabeza de un alfiler. Señaló la necesidad de que los *microscopios existentes en aquella época fueran mejorados* para observar objetos con ampliaciones 100 veces mayores.

Comparó la maravillosa información almacenada en una helicoide de A.D.N. con la incipiente información manejada por las computadoras de su época, *planteando la necesidad y posibilidades de la miniaturización electrónica*. Habló de procesos industriales de *evaporación de sólidos*

Foto de Mka Dyson para Time - Life Books Inc.



Ilustración 16. Dos increíbles visiones del futuro, que han sido fundadoras de la Nanotecnología actual. Los padres de ésta nueva tecnología son Freeman J. Dyson (Arriba), y Richard P. Feynman (En el Recuadro). Ambos físicos reconocidos mundialmente, mostraron con hechos una posibilidad técnica futura, que en su momento se antojaba como una historia de Ciencia Ficción.

El 16 de mayo de 1972, Freeman J. Dyson fue invitado a impartir una conferencia en honor al escritor J. D. Bernal¹¹⁸ en el Birbeck College, en Londres, siendo

¹¹⁸John D. Bernal, científico británico, nacido en Irlanda en 1901. Se especializó en cristalografía y realizó investigaciones acerca de la estructura de

para generar nuevos tipos de materiales.

Mencionó la consideración de *construir átomo por átomo maquinaria microscópica* para cumplir con funciones predeterminadas.

Lo más importante de su ponencia fue la afirmación de que en la medida en que el ser humano tuviese el control de la disposición de las moléculas y sus átomos, se *podrían crear nuevos materiales con propiedades* inimaginables en aquel momento. Al final instituyó dos premios, aún vigentes, con un fondo permanente financiado por el mismo, para premiar cualquier intento de miniaturización en las escalas que el había planteado.

investigador del Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, en Nueva Jersey. En esta ponencia alabó la visión de Bernal y lo comparó con Verne en lo que respecta a muchos acontecimientos tecnológicos que han tenido lugar en este siglo. Sin embargo, la esencia fundamental de su conferencia fue el tratar los tres caminos posibles, que podría seguir en el futuro, la naciente tecnología biológica, según su punto de vista personal. El primer camino mencionado era la factibilidad de lo que llamó *Cirugía Genética*, procedimiento por el cual los biólogos serían capaces de modificar, injertar o extirpar secuencias de A.D.N., a seres vivos para recomponer o aliviar su estructura física. El segundo camino planteado lo llamó *Ingeniería Biológica*, el cual consistía en utilizar microorganismos vivos rediseñados genéticamente para extraer minerales y *producir materiales* mediante el proceso de la fermentación común. El tercer y último camino expuesto fue la *Maquinaria Autorreproductora*, la cual consistía en la imitación de la función y reproducción de un organismo vivo con materiales no vivientes a cualquier escala.

Tanto Feynman como Dyson, por sus creativas aportaciones y conceptos expuestos, basados en hechos y conocimientos totalmente científicos, son considerados actualmente los *padres* de la llamada *Nanotecnología*, concebida como un amplio conjunto de tecnologías novedosas en las cuales los materiales y objetos son fabricados con dimensiones ubicadas *entre un micrómetro y un nanómetro de longitud o diámetro*¹¹⁹. Su visión temprana conjunta del futuro de la tecnología molecular y biológica abrió esperanzas desbordadas, en las comunidades científicas del mundo, en la transformación futura de la industria, la *investigación de materiales*, la conservación de la ecología terrestre, el desarrollo de la Cibernética y la exploración espacial.

2.2.1.3 Los Alcances de la Nanotecnología

Según la opinión general de la comunidad científica mundial, el surgimiento de la Nanotecnología determinó un *parteaguas histórico* en el desarrollo tecnológico de la humanidad. Antes de la Nanotecnología, el hombre ha sido capaz de crear herramientas y objetos bajo sistemas constructivos industrializados modificando porciones de materiales que contienen miles de millones de átomos. A esta tecnología, se le ha llamado *Tecnología Masiva*, y nos ha permitido evolucionar desde las herramientas labradas de piedra, hasta la creación de los microcircuitos integrados. La Nanotecnología permitirá manejar átomos y moléculas con absoluta precisión para construir estructuras microscópicas

diversas sustancias. En 1937 ingresó al Birbeck College de la Universidad de Londres. Fue premiado con la medalla de oro de la Royal Society. Escribió muchos libros entre los que destaca su principal obra: *La Ciencia en la Historia*, escrita en 1954.

¹¹⁹Un *Micrómetro* es igual a 0.000 001 metros, y un *Nanómetro* es igual a 0.000 000 001 metros.

con especificaciones atómicas sumamente complejas y caprichosas. Es por ello que a la Nanotecnología se le conoce con el nombre de **Tecnología Molecular**. La Nanotecnología cambiará seguramente la forma en que el hombre ve su mundo de tantas y tan variadas formas insospechadas que sería prácticamente imposible imaginarlas.

Actualmente, y entendida como un conjunto de novedosas tecnologías, la Nanotecnología es famosa fundamentalmente por dos de sus tendencias principales:

La *Nanoestructuración de Materiales*, y la creación de *Nanosistemas*. Por un lado, la Nanoestructuración es producto de investigaciones en los procesos industriales que han conducido a una serie de nuevos materiales cuyas propiedades y características básicas pueden ser prediseñadas antes de su creación. Los materiales resultantes han demostrado romper con nuestra comprensión general del comportamiento de los materiales convencionales. Por otro lado, los Nanosistemas pretenden generar *Nanomáquinas* que permitan realizar funciones de computación, fabricación, cirugía, exploración, o protección, entre otras tantas metas fijadas. La idea principal de los Nanosistemas es utilizar a los átomos como componentes elementales de un gran rompecabezas cibernético. Para los arquitectos, ambas disciplinas ofrecen descubrimientos y conocimientos prácticos que podremos aprovechar inmediatamente en el Siglo XXI, para construir edificios habitables con materiales novedosos, cuyas apariencias y propiedades no podrían comprender actualmente nuestros propios padres.

La Nanotecnología es, sin lugar a dudas, de vital importancia para la Investigación de Materiales a nivel mundial, por lo que, tanto en el presente como en el futuro, para la Industria de la Construcción se convierte en una tecnología fundamental.

2.2.1.4 Los Materiales Nanoestructurados

Richard W. Siegel es uno de los pioneros mundiales en la investigación, fabricación e promoción de los Materiales Nanoestructurados. Físico de profesión, posee un Doctorado en Metalurgia que le ha permitido profundizarse en la investigación de nuevos procesos prácticos de fabricación de materiales. En el año de 1985, comenzó sus primeras experimentaciones en el campo de la Nanoestructuración dentro de las instalaciones del Laboratorio Nacional de Argonne, y de acuerdo al éxito obtenido en su trabajo, decidió crear una empresa llamada **Nanophase Technologies Corporation** para explotar comercialmente

Foto de Nanophase Technologies Corporation.

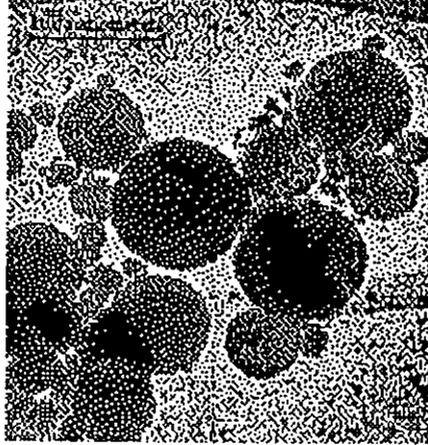


Ilustración 17. Imagen obtenida en un Microscopio de Transmisión Electrónica (TEM) mostrando granos de Óxido de Aluminio cuya dimensión es inferior a 100 nanómetros de diámetro. Los granos fueron obtenidos mediante el proceso patentado llamado Síntesis Física del Vapor (PVS).

sus descubrimientos, la cual es actualmente líder mundial en el campo de la industrialización y comercialización de los materiales nanoestructurados.

¿Qué diferencia existe entre un material común y uno nanoestructurado? Si comparamos dos pedazos de materiales con un volumen idéntico, por ejemplo dos cubos sólidos de cobre de un centímetro cúbico, la diferencia estriba en que en el interior del pedazo de material común, sus moléculas están organizadas en granos con poblaciones típicas de miles de millones de átomos, cuya dimensión granular oscila entre micrómetros y milímetros de diámetro. En el pedazo del material nanoestructurado, los granos moleculares tienen un tamaño máximo de 100 nanómetros de diámetro y tienen poblaciones granulares menores a decenas de miles de átomos. Dicho de

otra forma, los granos de los materiales nanoestructurados son entre *mil y cien mil veces más pequeños* que los de un material común, y además, dentro del mismo volumen poseen el **0.001 %** de átomos. **Lo anterior significa un ahorro increíble de materia dentro de cada pedazo de material nanoestructurado, y como consecuencia, una ligereza en peso que puede llegar a ser mil veces mayor que lo normal.** Esta distinción física permite también obtener propiedades y características nuevas, singulares y asombrosas que nunca antes han sido vistas en los materiales comunes.

La explicación del éxito obtenido por Siegel¹²⁰, yace en el descubrimiento¹²¹ de un proceso práctico y económico para crear materiales nanoestructurados en cantidades industriales al cual ha llamado y patentado como **Síntesis Física de Vapor**. El proceso expone a un material común a temperaturas superiores a su punto de fundición, propiciando una evaporación superficial de átomos, dentro de una atmósfera constituida por un gas especial, que son capturados en forma de cristales mediante un colector enfriado a bajas temperaturas. Los cristales resultantes son retirados del tubo colector y prensados para moldear cualquier tipo de objeto. **Lo más importante de este proceso es que mediante el control del ritmo de evaporación, y determinando el tipo correcto de gas y manejando adecuadamente su presión atmosférica, se puede modificar la resistencia a la fractura, la plasticidad, la elasticidad, el color, la transparencia, la resistencia a la**

¹²⁰Richard W. Siegel, *Creating Nanophase Materials*, Scientific American, diciembre 1996, pp. 74 - 79.

¹²¹Llamada PVS (Physical Vapor Synthesis), la cual no es, actualmente, el único medio de obtención de materiales nanoestructurados.

corrosión, la reacción química, el comportamiento eléctrico y magnético, y la resistencia térmica y acústica de cualquier material nanoestructurado.

¿Qué tipo de materiales comunes son susceptibles de ser nanoestructurados mediante este proceso? En realidad, todo tipo de sólido conocido puede ser aprovechado para crear estos nuevos materiales. Los cuatro grupos de sólidos presentes en la naturaleza, llamados metales, cerámicas, semiconductores y polímeros, están siendo tratados bajo éste proceso. **Debemos recordar que los cuatro tipos de materiales mencionados son los materiales constructivos básicos utilizados en la arquitectura moderna.**

¿Qué resultados importantes se han obtenido? Existen actualmente metales cuya resistencia es cinco veces mayor a la de sus contrapartes naturales. Se encontraron cerámicas que nunca se fracturan, sólo se deforman. Hay materiales que cambian de color dependiendo del espectro de luz que se aplique a su superficie, volviéndose en algunos casos totalmente transparentes. Se han construido semiconductores 300 veces más eficientes que los utilizados en la electrónica convencional. Existen cerámicas que resisten altas temperaturas y atmósferas sumamente corrosivas. La empresa **Nanophase Technologies Corporation** fabrica y comercializa una línea de producción que abarca actualmente materiales abrasivos, catalizadores, cosméticos, magnéticos, pigmentos y recubrimientos, componentes electrónicos y **Cerámicas Estructurales**¹²². Este último conjunto de productos permite la fabricación de **partes estructurales** mediante el proceso de moldeo en malla que, en un futuro inmediato, será usado principalmente por la industria automotriz y aeroespacial en la construcción de estructuras, motores y laminados.

2.2.1.5 El Arribo de los Nanosistemas

En el mundo científico, se le reconoce a K. Eric Drexler, Ingeniero de profesión graduado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, el impulso que los Nanosistemas han tenido en su desarrollo. A sus 42 años, ha escrito dos libros que han sido **influyentes y proféticos** en el desarrollo de la Nanotecnología y los Nanosistemas en general. El primero es el libro **"Engines of Creation"** donde previene a la comunidad científica sobre el futuro de la ciencia y la tecnología con la aparición de la Nanotecnología. En ese libro comparte sus conceptos fundamentales y define a los Nanosistemas como cualquier sistema nanométrico, conformado por átomos individuales ensamblados uno por uno a la vez, armados y conectados para alterar, transmitir y dirigir fuerzas aplicadas directas de una manera predeterminada para cumplir con un objetivo específico. El libro profundiza en los posibles peligros y

¹²²Todos sus productos tienen el nombre comercial NanoTek®. Por ejemplo, el Óxido de Aluminio nanoestructurado es llamado NanoTek® Aluminum Oxide. Todos están patentados y registrados.

beneficios de los Nanosistemas en el futuro de la humanidad. En el segundo libro, titulado **"Nanosystems: molecular machinery, manufacturing, and computation"**, es donde Drexler plasma las conclusiones y resultados científicos sobre la experimentación de Nanosistemas en una trayectoria de trabajo personal en el tema que abarca más de 15 años de esfuerzo. Siendo éste un libro más técnico que lo filosófico que era el anterior, la publicación muestra ejemplos y diseños creados por Drexler sobre maquinarias moleculares totalmente factibles. Ambos libros han causado **polémicas encontradas** en el mundo científico, a veces demasiado extremas, pero en ningún momento se le niega su visionaria aportación.

¿Para qué sirven los Nanosistemas? Los Nanosistemas permitirán crear maquinaria molecular funcionando con Nanocomputadoras altamente potentes para cumplir con misiones específicas preprogramadas. K. Eric Drexler llama a estas maquinarias **Nanomáquinas**. El explica que el ser humano debe crear dos tipos de Nanomáquinas: El primer tipo es llamado **"Ensambladores"** y el segundo se llama **"Desarmadores"**. Los **"Ensambladores"** y los **"Desarmadores"** son las herramientas básicas que el científico debe crear si quiere trabajar con absoluto control a escalas nanométricas, puesto que es físicamente imposible concebir otro tipo de herramienta útil a esos niveles. Un **"Ensamblador"** se parece mucho a una **Nanomáquina Natural** que todos poseemos dentro del núcleo de nuestras células: La molécula de enzima llamada **Polimerasa**. La función principal de la enzima es supervisar la rotura de los enlaces químicos de los nucleótidos de la helicoide doble del A.D.N., previa a la reproducción de la misma. La Polimerasa *destornilla* la molécula y la *reconstruye* obteniendo bloques de adenina, timina, guanina y citosina (nucleótidos) en el núcleo de la célula, para ubicarlos en la doble helicoide. Cuando uno de los nucleótidos que van a unirse no concuerda con su compañero, la polimerasa del A.D.N. lo aparta haciendo una **"corrección de pruebas"**. Un error en la corrección de pruebas puede ocasionar una mutación, porque las instrucciones genéticas han cambiado. Aquí, la polimerasa ocupa las funciones de un **"Desarmador"**. La polimerasa del ser humano es capaz de unir unas cuantas docenas de nucleótidos por segundo. En un momento dado, pueden estar trabajando en una doble helicoide más de diez mil polimerasas.

Drexler, que actualmente es patrocinado por Xerox y ha fundado el Instituto Foresight, define dentro de la Nanotecnología dos generaciones de Nanosistemas a desarrollar. La **primera generación** ya está siendo creada a través de la **Ingeniería Genética**, puesto que se han realizado experimentos exitosos en la creación de sustancias, mediante el proceso natural de fermentación, generado por bacterias rediseñadas genéticamente. Cabe citar ejemplos realizados en el área del **Biomimetismo en la Investigación**

de Materiales¹²³, donde se ha obtenido seda de araña sintética a partir de la modificación genética de una bacteria normalmente dañina al ser humano llamada *Escherichia Coli*¹²⁴. Estas bacterias rediseñadas son Nanomaquinarias que nos permitirán crear, en el futuro, directamente Nanomáquinas construidas átomo por átomo bajo

Foto de Peter Menzel para Time Magazine.

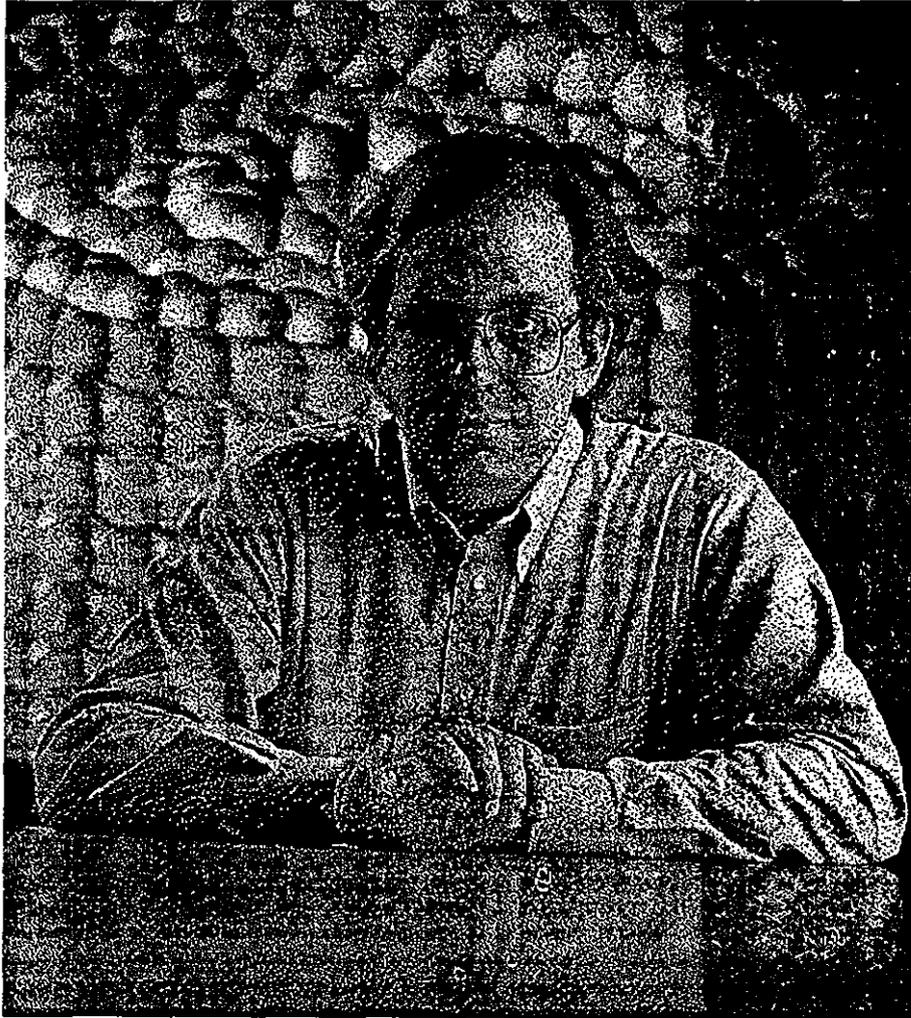


Ilustración 18. K. Eric Drexler sentado adelante de una imagen creada en computadora de una Nanomáquina construida a base de átomos diversos. Drexler ve a las moléculas como elementos de un gran ropecabezas cibernético nanométrico.

especificación. Estas últimas serán la segunda generación de Nanosistemas. Para Drexler, una vez existente la segunda generación de Nanomaquinarias, se podrán construir Nanocomputadoras, Nanorobots, Nanomotores, Nanoengranes y Materiales Nanoestructurados Ultraresistentes, que actualmente sólo existen en la memoria de un archivo de disco, guardado y diseñado en una computadora con sistemas CAD y de Realidad Virtual.

Hasta el momento, los nanosistemas sólo han hecho pequeños logros mediante el uso de un determinado tipo de microscopio electrónico que permite mover átomo por átomo. El sueño de Richard P. Feynman ya ha sido realizado, no escribiendo la Enciclopedia Británica, sino un cuento llamado "A Tale of Two Cities" con 25,000 átomos acomodados formando letras legibles¹²⁵.

2.2.1.6 Lo que la Arquitectura Puede Encontrar en la Nanotecnología

Imaginemos por un momento las consecuencias de los conceptos y descubrimientos expuestos aquí en relación con la Nanotecnología. Pensemos por un instante las implicaciones que los nuevos materiales descubiertos pueden tener en la concepción del espacio arquitectónico. Recordemos las ideas de Villagrán, de Feynman y de Dyson, meditando la posible forma de los futuros edificios y de nuestras ciudades. Veamos el futuro con un enfoque similar al de los afortunados ojos de Verne o de Bernal. Tratemos de ponernos en los zapatos de Siegel o de Drexler. Pensemos, por un pequeño instante, en dónde usaremos a la Nanotecnología para crear arquitectura.

Sólo viendo el futuro prospectivamente¹²⁶ con un poco de objetividad, y cantidades enormes de esperanza, podremos pensar entonces en maravillosas e insólitas soluciones constructivas. En un futuro inmediato, podríamos pensar en edificios cinco veces más altos soportando cargas cinco veces mayores, cuyas secciones estructurales fueran más esbeltas, y que ante un sismo no se fracturarán¹²⁷. Imaginaríamos edificios cuyas paredes y pisos cambiaran de color conforme la luz

¹²³La compañía IBM desarrolló en 1989 un nuevo tipo de microscopio electrónico que permitió descubrir por accidente que se podía levantar literalmente átomo por átomo, para acomodarlos de formas caprichosas. IBM inmediatamente escribió su logotipo con 35 átomos de xenón alineados nanométricamente.

¹²⁴Partiendo de que el futuro es una realidad múltiple, la prospectiva es principalmente una actitud mental, seguida por un proceso metodológico que intenta hacer probable el futuro deseable, ver Introducción.

¹²⁷Tanto en el documento Philips' Visión of Future y en el documento Telecom's Technology Calendar, se piensa que para el año 2006 se podrá incorporar a los materiales de construcción comunes, sensores electrónicos construidos dentro de su estructura molecular, para detectar esfuerzos excesivos a distancia, lo cual les permitirá avisar de colapsos potenciales. Estos materiales de construcción serán llamados inteligentes.

¹²³J. Madeleine Nash, *Copying What Comes Naturally*.

¹²⁴El Dr. David A. Tirrell lo logró y publicó en Science Magazine en un artículo llamado *Putting a New Spin on Spider Silk* en enero 5 de 1996.

del sol cambiara de tono. Pensaríamos entonces, en muros divisorios que fueran transparentes en el día, y opacos en la noche. Veríamos casas de dos pisos, fácilmente remolcadas por un pequeño vehículo, para cambiar de ubicación. Encontraríamos en cualquier supermercado grandes componentes estructurales, a precios económicos, suficientemente ligeros para que un niño de cuatro años los pudiera cargar.

Tal vez veríamos ciudades con menos contaminantes, al producir la Industria de la Construcción menos desperdicio. Conviviríamos con Nanomáquinas que hicieran constante limpieza de nuestro suelo y mares, y que fomentaran su enriquecimiento. Conoceríamos fábricas de materiales cuyos obreros fueran pequeñas Nanomáquinas con controles de calidad superiores a los actuales procesos productivos. Comprariamos computadoras miles de veces más potentes, a precios ínfimos, para diseñar nuestros proyectos arquitectónicos, las cuales pudiésemos guardar y cargar diariamente en la bolsa de la camisa.

Pienso que en la medida en que el arquitecto se adentre a la investigación de materiales, y en especial, se interese

por la Nanotecnología, estaremos creando un nuevo y muy diferente concepto de arquitectura. En ese momento, estoy seguro, la expresión bivalente forma función, de la cual nos hablaba Villagrán, nos mostraría distintos y sorprendentes resultados. Pero lo que puede ser aún más importante, es que romperíamos con esquemas y materiales, ya obsoletos, que hemos utilizado durante más de cinco mil años. Tal vez, por mencionar algún ejemplo, el peligroso cristal desaparezca al fin de las ventanas, para ser sustituido por un metal o una cerámica transparente e irrompible.

La Nanotecnología y la Arquitectura son interdependientes y combinables. La Nanotecnología ofrece soluciones prácticas y palpables a corto, mediano y largo plazo. La construcción del Siglo XXI está en nuestras manos, en nuestra capacidad de asimilar y responder a los nuevos cambios mencionados. No abandonemos el intento de comprenderlos e integrarlos. Busquemos especializarnos en la investigación de estos nuevos materiales. Tratemos de aplicarlos y no permitamos que otros lo hagan por el arquitecto. Vayamos a la vanguardia y no dejemos escapar esta oportunidad.

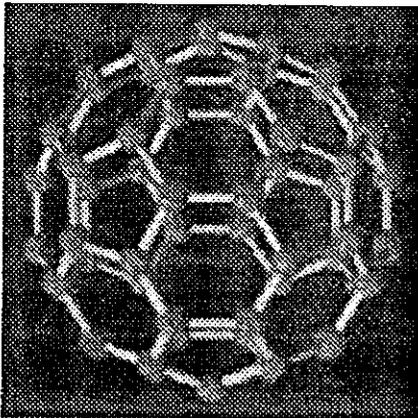
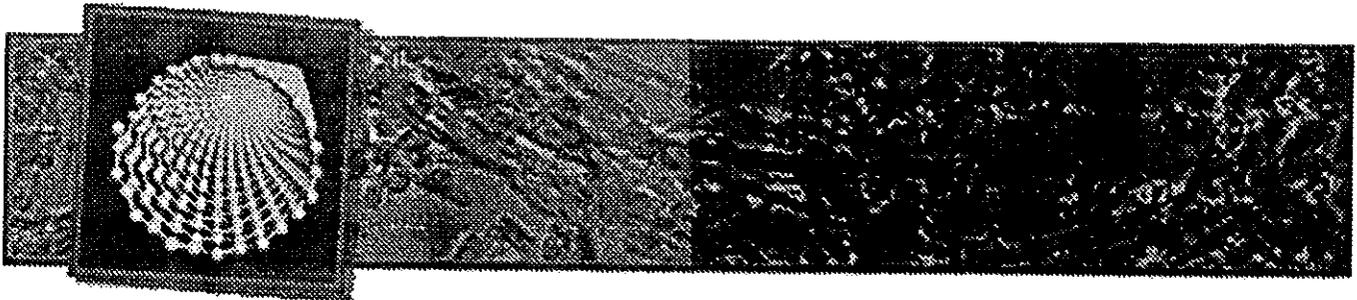


Ilustración 19. Producto de la capacidad del hombre por entender con la ciencia lo inmensamente grande y lo infinitamente pequeño, la Nanotecnología tiene entre sus objetivos crear nuevos materiales constructivos jugando con su estructura molecular. Este es el caso de los materiales nanoestructurados. Se ha descubierto que de la estructura molecular de un material dependen las propiedades físico químicas que de ellos percibimos. Un ejemplo lo encontramos en el Carbono, que en la naturaleza generalmente se presenta en dos formas: el diamante y el grafito. La transparencia y dureza del primero contrastan con la fragilidad y obscuridad del segundo. Ambos son Carbono puro, pero su diferencia estriba en la distinta organización molecular. A nivel nanométrico, el diamante es una estructura tridimensional rígida, mientras que el grafito consta de capas bidimensionales deslizables entre sí. La Nanotecnología recientemente ha permitido descubrir dos nuevas formas distintas posibles en la naturaleza para las moléculas del Carbono: Los Fullerenos (a la izquierda, en un modelo tridimensional por computadora) y los Nanotubos (abajo en fotografía de microscopio electrónico y modelo tridimensional). Ambos tienen propiedades asombrosas resistentes y eléctricas que se están estudiando ¿Podremos como arquitectos diseñar Edificios en el Siglo XXI aprovechando las propiedades maravillosas que ofrecen estos nuevos materiales?



Capítulo III

Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos

... “Tenemos lo suficiente para construir con técnicas avanzadas, si sabemos de ellas... La aviación y la conquista espacial nos han señalado rumbos, mismos que nosotros queremos ignorar... Queremos seguir sosteniendo la artesanía en vez de meternos en el nuevo mundo de la industria de la construcción... No hemos querido emplear ni los materiales, ni los procedimientos de las nuevas técnicas”...

Fernando Barbará Zetina, febrero de 1972.

... “La Metodología no debe ser un camino fijo hacia un destino concreto, sino una conversación sobre todas las cosas que podemos hacer que sucedan”...

J. Christopher Jones, Londres, 1976.

El contenido del tercer capítulo incluye la descripción lógica y objetiva del Modelo Formal diseñado por el autor, bajo los enfoques prospectivo y científico, que define el Método de Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos. Este método es el objetivo fundamental del presente trabajo.

3.1 Definición del Modelo bajo el Enfoque Prospectivo.

Cuando hablamos del Enfoque Prospectivo y Científico que intenta tener este trabajo, definimos en ambos métodos lo que un Modelo significa. Recordemos que en ambos enfoques, los modelos son representaciones abstractas de la realidad, son simuladores donde tratamos de resumir las características básicas de nuestro objeto de

estudio y que nos permiten experimentar. En ambos, los modelos son ejemplos análogos de los fenómenos estudiados pero con estructuras más sencillas. En ambos son una expresión simbólica, en términos lógicos, de una estructura idealizada que se supone análoga a la de un sistema real.

A lo largo de este trabajo, específicamente durante el desarrollo del Marco Teórico, lo que se hizo realmente fue definir un Modelo Formal cuya estructura idealizada, expresada simbólicamente y en términos lógicos, intenta explicar las propiedades y patrones que los materiales y sistemas constructivos deberían tener en la realidad.

El Marco Teórico es una descripción de la realidad. Para entender nuestro objeto de estudio, los materiales y

sistemas constructivos, tuvimos que generar un Modelo Formal.

Como primer paso en la modelación, según la Metodología Prospectiva, se deben definir los objetivos que el Modelo debe cumplir. En nuestro marco teórico definimos claramente los objetivos que deben cumplir los materiales y sistemas constructivos para considerarse óptimos para su utilización en la construcción de edificios. Por lo que hemos cumplido con este propósito.

Entonces, como segundo paso, el Método Prospectivo dice que para crear un modelo es necesario integrar y definir los posibles escenarios futuros. Cuando hablamos de la Evolución de los Materiales y Sistemas Constructivos, cumplimos con la etapa al plantearnos claramente los escenarios futuros de los nuevos materiales bajo el enfoque de la nueva ciencia de la Investigación de Materiales, en especial, bajo el enfoque de la nanotecnología, el biomimetismo y la genética.

Cumplimos con el tercer paso del Método Prospectivo cuando delimitamos nuestro objeto de estudio y destacamos que el problema a estudiar era la Evaluación de los Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos.

Dentro del mismo Marco Teórico determinamos la estructura aproximada, y la analizamos, bajo el enfoque sistémico, de los materiales y sistemas constructivos, lo que nos permitió cumplir con el cuarto y quinto paso del Método.

Ahora es necesario terminar la construcción de nuestro modelo o simulador para ponerlo a prueba. Éste modelo deberá cumplir coherentemente con su consistencia y precisión después de ser probado, lo que nos dirá si éste responde idealmente con la realidad.

3.2 Elección de la Técnica de Modelación.

La Hipótesis General y las Hipótesis Particulares son, en este caso, el punto de partida que debemos considerar para verificar el Modelo Formal que describimos ampliamente en el Marco Teórico. Recordemos que la primera cualidad que debe tener una hipótesis es que debe ser operacional. Se dice que si no se puede medir o cuantificar una hipótesis, entonces no es operativa.

Decidimos desde un principio utilizar a la Teoría de Sistemas como una de las técnicas de modelación. Ahora utilizaremos a los modelos matemáticos para terminar la construcción de nuestro Modelo. Esto implica trasladar o traducir los conceptos y estructuras descritos en el Marco Teórico y las Hipótesis a un lenguaje simbólico matemático que nos permita implementar una técnica cuantitativa de evaluación.

3.3 Construcción del Modelo.

Determinamos que la variable independiente de nuestra hipótesis eran los nuevos materiales y sistemas constructivos, mientras que nuestras variables dependientes son sus características evaluables, y sí:

Material de Construcción = $\{x \mid x \text{ es un sólido y cumple con los objetivos requeridos por el sistema constructivo al cual conforma}\}$

Sistema Constructivo = $\{x \mid x \text{ es un procedimiento que emplea materiales de construcción para cumplir con un objetivo}\}$

Materia Prima = $\{x \mid x \text{ es un material de construcción amorfo}\}$

Producto Terminado = $\{x \mid x \text{ es un material de construcción con forma definida}\}$

De acuerdo a las Relaciones Sistémicas mencionadas en el Marco Teórico y utilizando la Teoría de Conjuntos, llámese:

MC = $\{x \mid x \text{ es un material de construcción}\}$

SC = $\{x \mid x \text{ es un sistema constructivo}\}$

MP = $\{x \mid x \text{ es una materia prima}\}$

PT = $\{x \mid x \text{ es un producto terminado}\}$

Con lo anterior, hemos determinado que existen sólo cuatro conjuntos posibles, y estos son los *Materiales de Construcción*, *Los Sistemas Constructivos*, las *Materias Primas*, y los *Productos Terminados*. El componente constructivo o material de construcción sujeto a un análisis, debe ser necesariamente parte de alguno de los conjuntos mencionados.

En congruencia con ésto, llámese *m* a un material de construcción y *p* a un sistema constructivo:

$m \in MC$

$p \in SC$

A través de las relaciones establecidas en el Marco Teórico y las reglas de la Teoría de Conjuntos, descubrimos que la *intersección* del Conjunto Materia Prima y el Conjunto Producto Terminado es un *Conjunto Vacío*, mientras que la *intersección* de los Conjuntos llamados *Materiales de Construcción* y *Sistemas Constructivos* poseen *elementos* en común:

$MP \cap PT = \emptyset$

$MC \cap SC = \{x \mid x \text{ es un material de construcción, y a su vez } x \text{ es un sistema constructivo}\}$

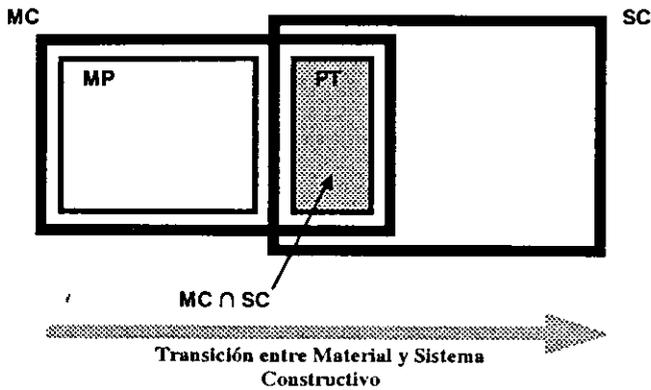
Por lo que:

$MC \cap SC = PT$

Los elementos en común detectados son conocidos como *Productos Terminados*, lo que significa que la intersección de ambos conjuntos, *Materiales* y *Sistemas*

Constructivos, es el **Conjunto de los Productos Terminados**.

Esta afirmación queda clara si visualizamos los conjuntos definidos en un Diagrama de Venn:



Entonces descubrimos que tanto el Conjunto de Materias Primas como el Conjunto de Productos Terminados, son realmente subconjuntos de los otros dos conjuntos definidos previamente. Además, también descubrimos que existe un parentesco entre los materiales y sistemas constructivos, y que su diferencia estriba en el **grado de complejidad** que va adquiriendo un material de construcción para pasar primero a ser un componente de construcción, y luego convertirse en un sistema constructivo. La ausencia o presencia de las propiedades y patrones de diseño, a las que llamaremos en su conjunto **Cualidades**, determina el grado de complejidad de un Material o Sistema.

El grado de complejidad está graficado por una flecha en el Diagrama de Venn anterior. Podemos entonces afirmar que:

Un Material de Construcción cuyo diseño y fabricación se va especializando, se va transformando, poco a poco, en un componente constructivo. Si el grado de complejidad aumenta, el componente constructivo se puede considerar entonces como un Sistema Constructivo.

Esta definición delimita claramente las diferencias entre ambos, además de que establece las bases necesarias para determinar a qué producto se le puede considerar **Material de Construcción** y a cuál se le puede llamar **Sistema Constructivo**. Las definiciones mostradas en el Marco Teórico quedan apoyadas con esta afirmación complementaria.

Por otro lado, las propiedades de los materiales de construcción y los patrones de diseño de los sistemas constructivos se pueden interpretar como *dos conjuntos* claramente definidos que nos permiten desarrollar operativamente los objetivos que deben cumplir aquellos componentes que deban ser considerados aceptables:

$PMC = \{x \mid x \text{ es una propiedad de los materiales de construcción}\}$

$PDSC = \{x \mid x \text{ es un patrón de diseño de los sistemas constructivos}\}$

Donde asignamos **b** a un patrón de diseño, y a la propiedad identificada la letra **a**:

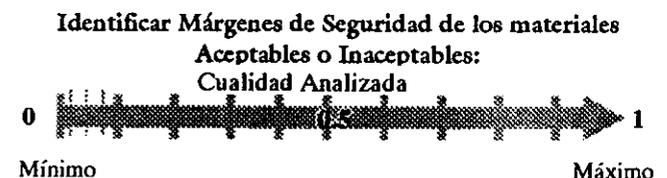
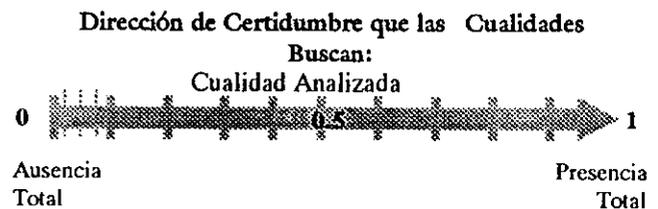
$a \in PMC$
 $b \in PDSC$

También es necesario definir dos conjuntos adicionales que nos ayudarán a identificar, de acuerdo con la Metodología de Evaluación planteada aplicada a este trabajo, la dirección de certidumbre y los márgenes de seguridad de la zona comprendida entre materiales y sistemas aceptables e inaceptables. Ambos conjuntos pueden ser representados como:

$V_m = \{y \mid y \text{ es valor o grado de } a\}$
 donde $0 \leq y \leq 1$

$V_s = \{y \mid y \text{ es un valor o grado de } b\}$
 donde $0 \leq y \leq 1$

Tanto las propiedades como los patrones de diseño son tratados como **variables continuas**, por lo que su valor oscila entre el cero y el uno. *Este rango es fortuito*, puesto que en la práctica, por el carácter general que toda metodología posee, cualquier usuario de la metodología podrá establecer rangos personales que le facilite el cálculo de la evaluación. Un usuario podría tomar un rango de 0 a 5, otro de 0 a 10, algún otro de 0 a 100. ¿Porqué siempre a partir del Cero? Porque se necesita establecer un grado de ausencia total del patrón o cualidad. Veamos ésto de una forma gráfica:



Para determinar o definir un tipo de medición sencilla que indique claramente si el material o sistema está en el margen de seguridad de este límite, es necesario establecer

operativamente los tipos de evaluación posibles, congruentes con el Marco Teórico, que se pueden implementar.

La Evaluación de un material de construcción o un sistema constructivo quedan representados entonces por las siguientes dos funciones:

$$E_1 = \{(x, y) ; \text{donde } x \in MC, y \in V_m, \text{ donde se posee } a\}$$

$$E_2 = \{(x, y) ; \text{donde } x \in SC, y \in V_s, \text{ donde se posee } b\}$$

Se muestran dos opciones de evaluación, la primera si se trata de un material de construcción, la segunda si el objeto analizado es un sistema constructivo. Pero si el material de construcción es un producto terminado, entonces:

$$\text{Si } x \in (MC \cap SC) \Rightarrow E_3 = \{(x, y) ; \text{donde } x \in PT, y \in (V_m \cup V_s), \text{ donde se posee } (a \vee b)\}$$

La Función de Evaluación E_3 representa fundamentalmente a la Segunda Hipótesis Particular de nuestro trabajo de investigación, la cual dice:

Todos los Materiales de Construcción que sean comercializados como Materia Prima, pueden ser evaluados de acuerdo a las propiedades ya definidas que deben cumplir todos los Materiales de Construcción. Sin embargo, si el Material analizado es comercializado como un Producto Terminado, a las propiedades mencionadas se les deben de añadir los patrones de diseño que deben poseer los Sistemas Constructivos.

Sólo pueden existir tres tipos de evaluación posibles para un material de construcción o un sistema constructivo. Estos tipos de Evaluación quedan representados por una función de evaluación que puede alternar entre tres valores:

Entonces:

$$FE = \{x \mid x \text{ es una función de evaluación para } (m \vee p)\}$$

$$FE = \{E_1, E_2, E_3\}$$

El Conjunto de las Evaluaciones Posibles, llamado FE, debe mostrarse en forma tabulada para su correcta aplicación en el análisis de los materiales y sistemas constructivos. La Tabulación toma la siguiente forma:

		CUALIDADES					
		a_1	a_2	a_3	...	a_m	
M A T E R I A L E S	X_1	Y_{x11}	Y_{x12}	Y_{x13}	...	Y_{x1m}	$\Sigma Y_{x1m} / m$
	X_2	Y_{x21}	Y_{x22}	Y_{x23}	...	Y_{x2m}	$\Sigma Y_{x2m} / m$
	X_3	Y_{x31}	Y_{x32}	Y_{x33}	...	Y_{x3m}	$\Sigma Y_{x3m} / m$

	X_n	Y_{xn1}	Y_{xn2}	Y_{xn3}	...	Y_{xnm}	$\Sigma Y_{xnm} / m$

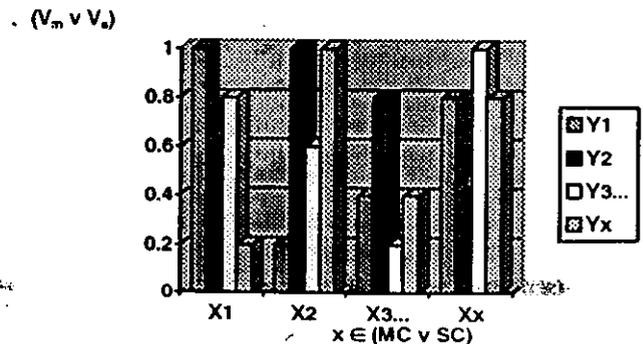
✓
El Mayor

En el eje de las X's estarán agrupados los materiales o sistemas a analizar, mientras que en el de las Y's se agruparán las cualidades (ya sean propiedades y/o patrones de diseño). En la intersección de cada columna y fila se irán anotando los grados de valor que van tomando las cualidades en función de los objetos de estudio. Al estar representadas de ésta forma, el promedio de los valores de un renglón nos arrojará, dentro del conjunto, un material o sistema constructivo que tenga un valor mayor.

Para los efectos de la Metodología de Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos, el Valor Mayor nos muestra el objeto analizado idóneo para nuestras necesidades de diseño. Cualquiera de las

funciones de evaluación representadas también podrá graficarse de la siguiente manera:

Evaluación de Materiales de Construcción o Sistemas Constructivos



3.4 Determinación de sus características o parámetros.

Se especificó desde un principio de la investigación, el proceso de evaluación propuesto, el cual estaba asentado en la base de que las soluciones planteadas en la construcción son producto de un proceso de diseño.

En el esquema que debía seguir la evaluación, se mencionó que se debe definir un objetivo que debe ser satisfecho por cualquier material aceptable. Ésto quedó determinado en el momento en que se señalaron en el **Marco Teórico** las propiedades de los materiales constructivos en función de los condicionamientos y patrones de diseño que deben seguir todos los sistemas constructivos contemporáneos en la creación de un sistema edificio.

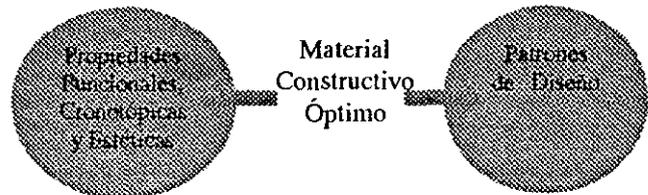
Después, se mencionó que se debía identificar la dirección de seguridad y certidumbre que como objetivo deben seguir los materiales constructivos. Cuando se definió, uno a uno, las propiedades funcionales y estéticas de los materiales constructivos aplicables a la arquitectura, y se estableció de forma operativa esta dirección, se cumplió con éste punto.

Más adelante se enfatizó que se debía examinar la evidencia disponible de los materiales para encontrar e identificar los límites que definen los márgenes de seguridad de un material constructivo para poderse considerar aceptable o inaceptable. Una primera parte de ello, fue lograda al analizar los antecedentes históricos y bibliográficos existentes y disponibles en forma documental. Una segunda parte se logró al definir los límites de forma operativa en el punto anterior. Señalar la forma por la cual se determinará si un material o sistema constructivo es aceptable o no para ser aplicable a un sistema edificio. **requiere fijar las reglas de evaluación** que posteriormente permitan cumplir con el último punto propuesto del esquema de análisis: *Obtener una medición sencilla que indique claramente si el material esta dentro de los límites señalados de seguridad.* Recordemos cuáles son los límites definidos por éste trabajo:

Un material constructivo óptimo, que es aplicable a la producción de componentes constructivos, **transita siempre entre los límites** definidos por el cumplimiento de los **patrones de diseño** de un sistema constructivo, y la verificación de las **propiedades funcionales y estéticas** que posee. Un arquitecto debe aplicar esta definición cuando se trata de elegir un material idóneo utilizable en su diseño constructivo.

Las reglas de evaluación que se proponen se resumen en el desarrollo de un método de evaluación de diseños arquitectónicos al que llamo **Análisis Cualitativo Cuantitativo**, el cual ha sido plenamente definido operativamente en el punto anterior.

El análisis es cualitativo cuantitativo porque se deben establecer como criterio de medición las cualidades y propiedades que debe cumplir el objeto a evaluar. El criterio de medición queda definido, si a cada propiedad mencionada se le asigna una determinada graduación de valores. Dentro de esta graduación, cada propiedad tendrá condiciones extremas que permitan definir su cumplimiento como valor óptimo, no tan óptimo y su negación.



Cuando la evaluación contempla la comparación simultánea de varias propiedades, se hace necesaria una **graduación similar equitativa y justa** para todas, con el objetivo fundamental de mantener durante el proceso de evaluación el máximo grado de objetividad.

Una vez conocidos los criterios de verdad aplicables durante el proceso de análisis cualitativo cuantitativo, se debe asignar **una calificación a cada nivel de verdad**. Las calificaciones o grados de valor deben ser mantenidas dentro del mismo rango o límites numéricos para que una propiedad no se vea favorecida por una cantidad mayor.

El último paso del análisis cualitativo cuantitativo es **tabular los objetos evaluados con sus calificaciones** obtenidas para comparar el grado de aceptabilidad o inaceptabilidad que tiene cuál o tal objeto analizado. La tabla arrojará resultados objetivos que permitirán ofrecer conclusiones y emitir propuestas coherentes y aceptables, tal como lo hemos visto en el punto anterior.

Un análisis cualitativo cuantitativo es definido así, porque a cada cualidad se le asigna un juicio de valor calificado con una cantidad numérica medible y comparable.

Para seguir los pasos requeridos por la investigación, de forma práctica y a través de un **Análisis Cualitativo Cuantitativo**, es necesario que a los materiales constructivos a revisar, *se les asigne a sus propiedades un juicio de valor graduado y calificado.* A continuación se presentan las **propiedades funcionales y estéticas de los materiales constructivos con juicios de valor, propuestos por su servidor**, acordes a los límites marcados por los patrones de diseño requeridos por todos los sistemas constructivos y las propiedades de básicas de todos los materiales de construcción contemporáneos previamente establecidos en el Marco Teórico:

Propiedades de los Materiales de Construcción

A.- Resistencia de los materiales.

Tensión.

- 1- Más de 80 veces el acero.
- 0.8- 50 veces el acero.
- 0.6- 20 veces el acero.
- 0.4- 10 veces el acero.
- 0.2- similar al acero.
- 0- menor que el acero.

Compresión.

- 1- Más de 8 veces el concreto.
- 0.8- 6 veces el concreto.
- 0.6- 4 veces el concreto.
- 0.4- 2 veces el concreto.
- 0.2- similar al concreto.
- 0- menor que el concreto.

Térmica (Coeficiente Conductibilidad Térmica).

- 1- CCT menor del 25 %.
- 0.8- CCT al 50 %.
- 0.6- CCT al 75 %.
- 0.4- CCT al 100 %.
- 0.2- CCT al 200 %.
- 0- CCT mayor al 300 %.

Acústica (Coeficientes de Absorción Acústica a 512 MHZ.).

- 1- CAA mayor al 100 %.
- 0.8- CAA al 80 %.
- 0.6- CAA al 60 %.
- 0.4- CAA al 40 %.
- 0.2- CAA al 20 %.
- 0- No Absorbe.

B.- Estabilidad de los materiales.

Constancia en su Estado Físico.

- 1- Se mantiene sólido.
- 0.8- Es un Semisólido.
- 0.6- Tiene dos estados naturales constantes.
- 0.4- Cambia gradualmente con la temperatura.
- 0.2- Es Semilíquido.
- 0- Cambia abruptamente.

Deformación (Rango Elástico).

- 1- Forma constante hasta la ruptura.
- 0.8- Forma elástica hasta la ruptura.
- 0.6- Forma elástica - plástica.
- 0.4- Forma plástica hasta la ruptura.
- 0.2- Maleable.
- 0- Muy Deformable.

Fragilidad.

- 1- No llega a la fractura.
- 0.8- Se fractura al máximo carga.
- 0.6- Se fractura al 50 % de carga.
- 0.4- Se fractura con carga moderada.
- 0.2- De manejo delicado.
- 0- Se fractura al menor esfuerzo.

Durabilidad.

- 1- Es eterno.
- 0.8- No se degrada jamás.
- 0.6- No se degrada fácilmente.
- 0.4- Se degrada después del colocado.
- 0.2- Se degrada durante el colocado.
- 0- Se degrada antes de ser colocado.

Persistencia Cromoháptica.

- 1- Color y Textura permanente.
- 0.8- Color y Textura durable.
- 0.6- Color y Textura razonable.
- 0.4- Color y Textura deteriorable.
- 0.2- Color y Textura variable.
- 0- Color y Textura inoperante.

Persistencia en su Volumen (Coeficiente de Dilatación).

- 1- Menor de un millonésimo.
- 0.8- Un cien milésimo.
- 0.6- Un diez milésimo.
- 0.4- Un milésimo.

0.2- Un céntimo.

0- Mayor a un céntimo.

Disponibilidad.

- 1- Obtención Gratuita y Abundante.
- 0.8- Totalmente Comercializado.
- 0.6- Venta aislada.
- 0.4- Venta condicionada.
- 0.2- Obtención en laboratorio.
- 0- No es sintetizable todavía.

C.- Peso de los Materiales.

Relación Ligereza / Densidad (Agua = 1).

- 1- Menor de 80 %.
- 0.8- Similar al 100 %.
- 0.6- Similar al 150 %.
- 0.4- Similar al 200 %.
- 0.2- Similar al 300 %.
- 0- Mayor al 400 %.

D.- Apariencia Óptico Háptica de los Materiales.

Plasticidad.

- 1- Permite formas complejas.
- 0.8- Permite formas geométricas.
- 0.6- Permite formas lineales.
- 0.4- Permite formas amorfas labrables.
- 0.2- Permite formas amorfas no labrables..
- 0- No permite forma alguna.

Moldeabilidad.

- 1- Permite Moldes Caseros.
- 0.8- Permite Moldes Especializados.
- 0.6- Es Prensado.
- 0.4- Es Laminado.
- 0.2- Es Estruido.
- 0- Otro proceso especial.

Versatilidad.

- 1- Permite múltiples funciones.
- 0.8- Permite ciertas funciones.
- 0.6- Permite dos funciones.
- 0.4- Permite una función.
- 0.2- Permitirá una función.
- 0- No tiene aplicación conocida.

Patrones de Diseño de los Sistemas Constructivos

Sistematización.

- 1- Es idealmente sistematizado.
- 0.5- Posee cierto grado de sistematización.
- 0- No está sistematizado.

Industrialización.

- 1- Es idealmente industrializado.
- 0.5- Posee cierto grado de industrialización.
- 0- No está industrializado.

Modulación.

- 1- Es idealmente Modulado.
- 0.5- Posee cierto grado de modulación.
- 0- No está modulado.

Racionalización.

- 1- Es idealmente racionalizado.
- 0.5- Posee cierto grado de racionalización.
- 0- No está racionalizado.

Normalización.

- 1- Es idealmente normalizado.
- 0.5- Posee cierto grado de normalización.
- 0- No está normalizado.

Transportación.

- 1- Es idealmente transportable.
- 0.5- Posee cierto grado de transportabilidad.
- 0- No es transportable.

Interconectividad.

- 1- Es idealmente Interconectable.
- 0.5- Posee cierto grado de Interconectividad.

- 0- No es Interconectable.
Intercambiabilidad
1- Es idealmente Intercambiable.
0.5- Posee cierto grado de Intercambiabilidad.
0- No es Intercambiable.

En las tablas de valor expresadas anteriormente, cada una de las propiedades funcionales y estéticas tiene grados continuos de verdad y a cada nivel se le da una calificación. La calificación en todos los casos va del uno al cero, dando la mejor cantidad al nivel aceptable y la menor al inaceptable.

De cada nivel expuesto existen propiedades cuya graduación es objetiva y otras es puramente subjetiva. Los aspectos evaluados que utilizan escalas de medición mediante coeficientes y capacidades plenamente medibles son objetivos. Los valores graduados que no son medibles tienden a ser subjetivos.

La subjetividad de las escalas es debida a que han sido designadas a criterio de su servidor de acuerdo a mi interpretación personal de las propiedades.

Es importante que en una segunda etapa de investigación, se mejore los niveles de graduación tratando de investigar y utilizar escalas medibles como lo son las usadas en la tracción, la compresión, el coeficiente de conductibilidad térmica, los coeficientes de dilatación, los valores de densidad o los coeficientes de absorción acústica. *Donde no exista una escala disponible, se puede investigar y experimentar para luego definirla.*

Ésto es un tema para investigación científica. *El Método de Evaluación propuesto abre nuevas perspectivas de investigación. Si las escalas se mejoran, la evaluación será más precisa.*

Por otro lado, en la medida en que existan datos disponibles más precisos y fidedignos de los materiales novedosos, mejoraremos aún más la precisión de la evaluación. *Es importante comprobar la veracidad de los datos con más investigación y experimentación directa. Mientras tanto, procederemos a efectuar el Análisis Cualitativo Cuantitativo con la escala propuesta a sabiendas que es perfectible. El método de evaluación propuesto es el que importa.*

Capítulo IV

Aplicación del Método de Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos

.... *“El Muestreo es un instrumento de gran validez en la investigación, con el cual se selecciona las unidades representativas, de las que se obtendrá los datos que permiten inferir sobre la población investigada”...*

Mario Tamayo y Tamayo, El Proceso de la Investigación Científica, 1998.

En este cuarto y último capítulo se aplica el Método de Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos a una Muestra representativa de los materiales mencionadas en la segunda parte del capítulo llamado Evolución de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos. En la muestra se trata de comparar materiales de uso común en la arquitectura con otros que se usarán en la construcción en el Siglo XXI. El análisis cualitativo cuantitativo realizado calcula y define un Factor de Eficiencia de los Materiales que puede servir en el futuro como un parámetro comparativo de medición universal.

7.1 Aplicación del Modelo a Escenarios Definidos.

7.1.1 Diseño de la Muestra.

7.1.1.1 Determinación de los Materiales a Evaluar.

Los materiales constructivos a analizar y evaluar son todos aquellos mencionados en la investigación de antecedentes históricos y bibliográficos que no han sido

utilizados plenamente en la edificación actual y que prometen un cambio radical en la concepción actual de los sistemas constructivos diseñados por el arquitecto. Para ello es necesario conocer a detalle las propiedades funcionales y estéticas que presentan. Como la mayoría de los materiales analizables no han sido aplicados ampliamente en la arquitectura actual, la evaluación real tendrá ciertas limitantes de comprobación, causadas por la a veces cuestionable veracidad de la información técnica particular de cada material disponible.

El arquitecto debe adentrarse en la experimentación de éstos materiales para proporcionar datos veraces y verificables que incrementen el acervo de conocimientos disponibles sobre ellos. Mientras tanto, y para cumplir con los objetivos trazados de ésta investigación, se ha decidido analizar doce materiales poco o nunca usados en la industria de la construcción, y que permitirán verificar la factibilidad de sus aplicación futura en sistemas constructivos: Para facilitar la evaluación de los materiales novedosos, se ha determinado compararlos con tres de los materiales constructivos tradicionales. Es muy

importante tener un punto de referencia conocido para poder implementar un criterio de evaluación justo e imparcial.

7.1.1.2 Presentación de Información Técnica Disponible.

A continuación se presentan los datos técnicos descriptivos de los materiales constructivos a evaluar. La información ofrecida permitirá determinar valores

cualitativos que permitan comparar los materiales elegidos de acuerdo a los patrones de diseño constructivo, las propiedades básicas de los materiales constructivos y los criterios de evaluación, todos ellos anteriormente definidos. La tabla incluye al concreto simple, el acero estructural, el vidrio y el cloruro de polivinilo, que son poco o muy usados actualmente como materiales constructivos en la arquitectura:

Material	Densidad. Agua = 1	Resistencia a la Tensión Kg / cm ²	Estado Físico Definitivo			Tipo de Material				Material Compuesto			Composición Básica	Uso Actual	
			S	L	G	C	M	S	P	M	C	PM			
Seda de Araña	0.80	9,000	■								■			Proteína Natural	Telaraña
Kevlar	1.20	39,200	■								■			Fibra Artificial	Chalecos Blindados
Spectra	1.10	49,000	■								■			Fibra de Polietileno	Refuerzo Industrial
Sílice Fundida	2.60	137,000	■			■								Vidrio al 100 %	Arquitectura
Grafito	2.20	196,000	■	■		■								Grasa Cristalizada.	Combinaciones In.
Silicón	2.33	156,800	■						■					Plástico Mineral.	Electrónica
Óxido de Berilio	1.85	245,000	■			■								Agregado Ligero.	Astronáutica
Fibra de Carbono	1.70	60,000	■			■					■			Plástico Compuesto.	Artículos Deportivos
Fibra de Vidrio	2.10	5,000	■			■					■			Plástico Compuesto.	Náutica, Automotriz.
Nitrato de Celulosa	1.30	8,000	■								■			Plástico Vegetal.	Papel, Madera.
Cermet	2.80	5,200	■			■					■			Cerámica Metálica.	Astronáutica
Fibra de Boro	1.93	14,300	■			■					■			Plástico Compuesto.	Astronáutica
Concreto Simple	2.10	50	■			■								Aglomerante Mineral.	Arquitectura
Acero Estructural	7.87	4200	■				■							Aleación Metálica.	Estructuras
Cloruro de Polivinilo Rígido.	1.35	600	■								■			Plástico Hidrocarburo.	Tuberías y Piezas plásticas.

Tabla 1. La tabla muestra de manera condensada la clasificación, definición y uso actual de los materiales constructivos a analizar. Cada uno de ellos muestra su densidad con respecto al agua líquida, y su capacidad de tracción máxima. En la clasificación, se define primero si el material es sólido, líquido o gaseoso en su estado final. En segundo lugar se define si el material es predominantemente cerámico, metálico, semiconductor o polímero. Al final, si el material es compuesto, se indica la composición de la matriz aglutinada, que puede ser metálica, cerámica o polímera.

En los materiales a analizar se han incluido ejemplos de materiales derivados de las Ingenierías Aeroespacial, Bioquímica y Genética que se evaluarán al mismo tiempo con algunos materiales conocidos tradicionales de la arquitectura. Se anexa información técnica de proteínas naturales como la seda de la araña, y algunas fibras sintéticas como el Kevlar, el Spectra¹²⁸, de carbono, de vidrio y de boro. También se trabaja con aleaciones metálicas como el óxido de berilio¹²⁹ y el acero estructural (hierro descarburado). Entre los plásticos se mencionan un ejemplo derivado de cada uno de los reinos vegetal y mineral, incluido un hidrocarburo conocido.

Es importante mencionar, que la determinación de evaluar al nitrato de celulosa obedece a la necesidad de considerar una opción industrial a los materiales mexicanos vernáculos actualmente usados. Todos los materiales vegetales recolectados en la arquitectura vernácula permiten extraer en mayor o menor grado la celulosa, que podrá usarse como opción práctica, avanzada, real y actual, para la implementación de nuevos sistemas

constructivos que utilicen eficientemente nuestros recursos locales.

De los materiales modernos obtenidos mediante el Biomimetismo, sólo se ha elegido a la *seda de la araña* debido a que es el único en su categoría cuya producción artificial industrializada a sido confirmada. Por la misma razón, no se han incluido materiales creados con la Nanotecnología, puesto que *no se puede evaluar algo que aún no se ha aplicado.*

7.1.2 Análisis, Comparación y Verificación de la Muestra.

7.1.2.1 Análisis Cualitativo Cuantitativo.

En la tabla siguiente, se busca evaluar los quince materiales mencionados utilizando las escalas de verdad expuestas en el punto anterior con la salvedad de que en esta ocasión, y para facilitar la verificación más adelante mediante un modelo de investigación operativa, de que se usa una escala del cero al cinco (0..5). En el cuadro se aprecian seis columnas principales: Los materiales constructivos, su resistencia, su estabilidad, su peso, su apariencia óptico háptica, y una evaluación cualitativa cuantitativa final.

¹²⁸El Spectra es una fibra sintética constituida de una matriz de polietileno altamente orientado en una sola dirección.

¹²⁹El berilio es uno de los metales más ligeros que existen. En su forma pura es altamente venenoso a la ingestión.

En la columna de materiales se enumeran las sustancias a evaluar en el mismo orden en que fueron presentadas sus características técnicas. En la columna de resistencia se encuentran cuatro particiones que pertenecen a las calificaciones obtenidas por tracción, compresión, resistencia térmica y acústica. Es importante recordar que no se evalúan la flexión, la torsión, el cortante y la fricción por ser esfuerzos que están relacionados directamente con la forma final construida. La evaluación que se hace es de materiales de los cuales no se conoce su destino final.

La siguiente columna muestra las propiedades de estabilidad calificadas de acuerdo a su estado físico, su deformación, su fragilidad, su durabilidad, su persistencia cromoháptica, su volumen y su disponibilidad. La columna que sigue muestra el peso del material en función de su relación ligereza / densidad. A continuación se muestran las propiedades evaluadas de la apariencia óptico háptica llamadas plasticidad, moldeabilidad y versatilidad.

La última columna es la más importante porque condensa la información expuesta en dos valores numéricos que son el objetivo fundamental de esta investigación. Los valores mencionados nos permiten conocer cuáles son los materiales modernos aplicables a la construcción del futuro.

Uno de los valores mostrado en esa columna es el total obtenido de la suma aritmética de las calificaciones ofrecidas a cada material constructivo. El otro valor es un Factor de Eficiencia Propuesto que resulta de la división aritmética del total obtenido entre el total mostrado del acero estructural. La propuesta de éste factor obedece a la necesidad de responder cuál de todos los materiales es más eficiente como material de construcción. La pregunta es: Si el material constructivo analizado es más eficiente, ¿En función de qué lo es?. Como el material más conocido y antiguo aplicado a la construcción de componentes

estructurales es el acero, es en función de él, la definición del factor o coeficiente propuesto.

Este tipo de escalas de factores, en función de otro material, no es nueva. Existe un ejemplo llamado la Escala de Dureza de Moh, que es utilizada en construcción para definir el grado de dureza que tienen las piedras y sillares, naturales y artificiales. La escala toma como la piedra más dura conocida al diamante, y le asigna una calificación o factor con valor de 10. La escala evalúa fundamentalmente la dureza de una piedra obteniendo un coeficiente que resulta de la densidad y la resistencia de la piedra a la ruptura. En función de esta cantidad, las rocas menos densas tienen valores iguales a uno, mientras que las piedras más densas se acercan al diez.

Otro ejemplo es el Coeficiente de Densidad de los materiales conocidos: Todos son evaluados tomando al agua líquida como la unidad. Para el objetivo de éste trabajo, el acero es mi material de referencia, y al rededor de él se calificarán los demás materiales constructivos aplicables a la arquitectura del futuro. El Coeficiente de Eficiencia de los Materiales Constructivos propuesto es un valor de referencia objetivo que permite calificar un material cualquiera en función de uno comúnmente usado.

Un punto importante a señalar es que el Análisis Cualitativo Cuantitativo propuesto puede ser mejorado para la evaluación de materiales locales, añadiendo en una de sus columnas, calificaciones en función de la propiedad cronotópica llamada Costo Comercial del Material. En muchos casos, es fundamental en la definición de un material constructivo a usarse la evaluación del precio de adquisición. Si el material es más barato que otro más eficiente, puede ser que se elija al menos eficiente. Son consideraciones que se deben tocar. La evaluación propuesta es flexible, por lo que el lector podrá generar y aplicar su propia versión a los materiales que desee revisar.

Material Constructivo	Resistencia				Estabilidad								Peso	Apariencia Háptica			Evaluación Cualitativa Cuantitativa Factor de Eficiencia con respecto al Acero Estructural	
	T	C	TE	AC	EF	DE	FR	DU	CH	VO	DI	Id		PL	MO	VE	Total	Factor
Seda de Araña	1	0	5	5	5	4	4	2	4	5	0	1	3	0	1	41	1.025	
Kevlar	2	0	5	4	5	3	4	4	4	5	2	4	4	0	4	50	1.250	
Spectra	2	0	5	4	5	3	4	4	4	5	2	4	4	2	4	52	1.300	
Sílice Fundida	4	2	2	1	5	5	1	5	5	5	4	1	5	3	4	52	1.300	
Grafito	5	0	2	1	3	2	2	2	4	5	3	2	2	3	2	38	0.950	
Silicón	4	0	2	1	5	3	4	3	4	5	4	2	5	2	3	47	1.175	
Oxido de Berilio	5	1	0	1	5	1	4	4	2	4	2	3	3	1	2	38	0.950	
Fibra de Carbono	3	2	5	5	5	3	4	4	3	5	3	3	5	4	4	58	1.450	
Fibra de Vidrio	1	1	5	5	5	3	4	4	3	5	3	2	5	5	4	55	1.375	
Nitrato de Celulosa	1	1	5	5	5	2	4	3	3	5	3	4	5	5	5	56	1.400	
Cermet	1	1	2	2	5	5	2	4	3	4	2	1	4	3	4	43	1.075	
Fibra de Boro	1	2	5	5	5	3	4	4	3	5	2	2	5	0	4	50	1.250	
Concreto Simple	0	1	0	1	5	3	4	3	2	4	4	2	4	5	5	43	1.075	
Acero Estructural	1	5	0	1	5	1	4	3	2	4	4	0	4	1	5	40	1.000	
Cloruro de Polivinilo Rígido.	0	1	5	5	5	3	4	3	2	5	4	4	5	5	5	56	1.400	

Tabla 2. Tabla de calificaciones para el Análisis Cualitativo Cuantitativo de los materiales constructivos modernos aplicables a la arquitectura del futuro. En la tabla se aprecia que el mejor material constructivo de los analizados es la fibra de carbono, que es un 45 % más eficiente que el acero, de acuerdo al Coeficiente de Eficiencia de los Materiales Constructivos que se ha propuesto en ésta investigación.

7.1.2.2 Verificación con Modelos Matemáticos.

En la tabla mencionada, que es mostrada a continuación, las cualidades de resistencia consideradas son: Resistencia a la Tensión (T), Resistencia a la Compresión

(C), Resistencia Térmica (TE), y Resistencia Acústica (AC), todas ellas en las primeras cuatro columnas. Se intenta conocer cuál de todos estos materiales es más resistente de acuerdo con el Criterio de Hurwicz.

Material Constructivo	Resistencia				Estabilidad							Peso	Apariencia Ilíptica			Óptico	Evaluación Cualitativa Cuantitativa	
	T	C	TE	AC	EF	DE	FR	DU	CH	VO	DI		Id	PL	MO		VE	Total
Seda de Araña	1	0	5	5	5	4	4	2	5	0	1	5	3	0	1	41	1.025	
Kevlar	2	0	5	4	5	3	4	4	4	5	2	4	4	0	4	50	1.250	
Spectra	2	0	5	4	5	3	4	4	4	5	2	4	4	2	4	52	1.300	
Sílice Fundida	4	2	2	1	5	5	1	5	5	5	4	1	5	3	4	52	1.300	
Grafito	5	0	2	1	3	2	2	2	4	5	3	2	2	3	2	38	0.950	
Silicón	4	0	2	1	5	3	4	3	4	5	4	2	5	2	3	47	1.175	
Óxido de Berilio	5	1	0	1	5	1	4	4	2	4	2	3	3	1	2	38	0.950	
Fibra de Carbono	3	2	5	5	5	3	4	4	3	5	3	3	5	4	4	58	1.450	
Fibra de Vidrio	1	1	5	5	5	3	4	4	3	5	3	2	5	5	4	55	1.375	
Nitrato de Celulosa	1	1	5	5	5	2	4	3	3	5	3	4	5	5	5	56	1.400	
Cermet	1	1	2	2	5	5	2	4	3	4	2	1	4	3	4	43	1.075	
Fibra de Boro	1	2	5	5	5	3	4	4	3	5	2	2	5	0	4	50	1.250	
Concreto Simple	0	1	0	1	5	3	4	3	2	4	4	2	4	5	5	43	1.075	
Acero Estructural	1	5	0	1	5	1	4	3	2	4	4	0	4	1	5	40	1.000	
Cloruro de Polivinilo Rígido.	0	1	5	5	5	3	4	3	2	5	4	4	5	5	5	56	1.400	

Tabla 3. Tabla de calificaciones para el Análisis Cualitativo Cuantitativo de los materiales constructivos modernos aplicables a la prefabricación del futuro. En la tabla se aprecia que el mejor material constructivo de los analizados es la **fibra de carbono**, que es un 45 % más eficiente que el acero, de acuerdo al Coeficiente de Eficiencia de los Materiales Constructivos que se ha propuesto en esta investigación.

El análisis mediante el Criterio de Hurwicz establece que debemos definir una matriz de 15 renglones con cuatro columnas. En los renglones, los materiales son mis actividades a evaluar. En las columnas, las cualidades de resistencia son mis eventos a manejar. Los valores que tiene actualmente la tabla no estarán a discusión para el experimento. Desarrollemos entonces el siguiente

planteamiento: El Criterio de Hurwicz permite elegir la mejor opción de acuerdo al mejor Factor de Rendimiento Ponderado, el cual incluye un Coeficiente de Optimismo. Dado que mi objetividad es básica en éste experimento, el Coeficiente de Optimismo a utilizar será de 50%, por lo que mi pesimismo será también de 50%.

A :=	1 0 5 5	Seda	Max :=	5	Seda	Min :=	0	Seda	F =	2.5	Seda
	2 0 5 4	Kevlar		5	Kevlar		0	Kevlar		2.5	Kevlar
	2 0 5 4	Spectra		5	Spectra		0	Spectra		2.5	Spectra
	4 2 2 1	Sílice		4	Sílice		1	Sílice		2.5	Sílice
	5 0 2 1	Grafito		5	Grafito		0	Grafito		2.5	Grafito
	4 0 2 1	Silicon		4	Silicon		0	Silicon		2	Silicon
	5 1 0 1	OdeBerilio		5	OdeBerilio		0	OdeBerilio		2.5	OdeBerilio
	3 2 5 5	FCarbono		5	FCarbono		2	FCarbono		3.5	FCarbono
	1 1 5 5	FVidrio		5	FVidrio		1	FVidrio		3	FVidrio
	1 1 5 5	NCelulosa		5	NCelulosa		1	NCelulosa		3	NCelulosa
	1 1 2 2	Cermet		2	Cermet		1	Cermet		1.5	Cermet
	1 2 5 5	FBoro		5	FBoro		1	FBoro		3	FBoro
	0 1 0 1	Concreto		1	Concreto		0	Concreto		0.5	Concreto
	1 5 0 1	Acero		5	Acero		0	Acero		2.5	Acero
	0 1 5 5	PVC		5	PVC		0	PVC		2.5	PVC

El resultado obtenido nos muestra nuevamente que el mejor material es la **Fibra de Carbono (3.5)**, por lo que el *Criterio de Hurwicz* confirma los valores obtenidos en el *Método de Evaluación de Sistemas y Materiales Constructivos* propuesto anteriormente por un servidor. Tratemos de graficar su Dominancia, para conocer el rango de opciones equivalentes donde se crean las intersecciones:

Debido a que mi **Coefficiente de Optimismo** es idéntico al de **Pesimismo**, teóricamente en este intervalo, todas las opciones son equivalentes, por lo que se debe efectuar otro análisis con distintos valores de los coeficientes. Sin embargo, en el tramo graficado, el Concreto tiene el nivel más bajo, mientras que la **Fibra de Carbono** tiene el lugar más alto.

7.1.2.3 Factor de Eficiencia de los Materiales.

De la **Tabla de Calificaciones del Análisis Cualitativo Cuantitativo** se desprenden resultados interesantes. El primer resultado es que el material más eficiente, y por lo tanto más aplicable a la arquitectura del futuro, es la **fibra de carbono**, con un **45 %** mayor al acero estructural. Después le siguen la mayoría de los materiales compuestos o plásticos: El **nitrato de celulosa** con un **40 %**, el **cloruro de polivinilo rígido** con un **40 %**, la **fibra de vidrio** con un **37.5 %**, y la **fibra de boro** con un **25 %**.

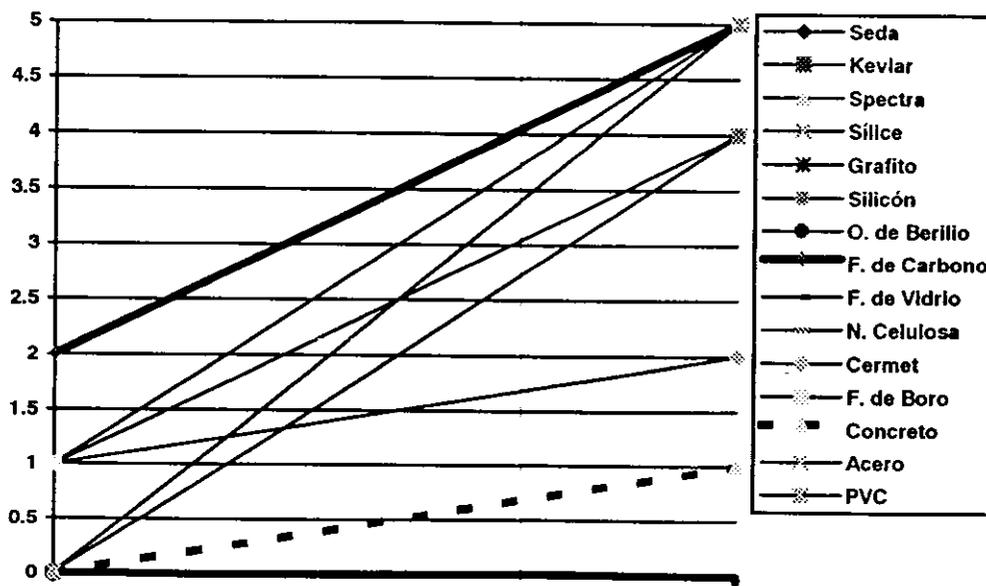
Con los datos obtenidos, la **celulosa** se convierte en una **opción eficiente** para su industrialización total a partir de materiales vernáculos mexicanos tradicionales de procedencia vegetal. Es importante resaltar que el **concreto** es **ligeramente más eficiente** que el **acero**. Parece ser que esto es posible principalmente por dos circunstancias obvias:

Su capacidad plástica y su moldeabilidad. El **concreto** permite muchos destinos con múltiples formas y texturas. El **concreto** es más eficiente a pesar de que el **acero** resista mayores esfuerzos.

Creo conveniente mencionar que el material proteico llamado **Seda de Araña** es ligeramente más eficiente que el **acero**, a pesar de que es un material difícil de obtener, y que además presenta problemas serios de estabilidad debido a una descomposición natural y a una falta de versatilidad en sus funciones futuras. **Recordemos que la seda arácnida aún no se usa en la construcción, y de todas maneras es más eficiente que el acero.** Si se logra sintetizar en el futuro un polímero artificial que posea todas las cualidades de la **seda natural arácnida**, creo que ese material será entonces elegible para la edificación.

Es necesario señalar que cualquier material que obtenga menor calificación que el **acero**, **no debe ser considerado** para componentes estructurales, ya que no tiene caso arriesgarse con materiales poco eficientes dentro del sistema soportante del edificio.

Si se desea utilizar en el futuro, el método empleado en éste trabajo, para definir los materiales constructivos modernos aplicables a la arquitectura, es necesario definir un **factor fijo** en función de un material base consensado por todos los interesados en la producción de sistemas edificatorios. Obteniendo un **valor fijo universal**, la escala podrá ayudarnos a comprender mejor los materiales y sus posibilidades de aplicación. **Ésto es muy importante si tomamos en cuenta que el futuro de la investigación de materiales implica sustancias maravillosas e insospechadas.**



Conclusiones

Sobre la Evolución y Evaluación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos

... "¿qué es verdaderamente "moderno" en arquitectura? La respuesta es el poder - o sean los recursos materiales -, directamente aplicado al propósito. Sí, la arquitectura moderna es el poder directamente aplicado al propósito en los edificios, en la misma forma que lo vemos aplicado al avión, al barco o al automóvil"...

Frank Lloyd Wright, El Futuro de la Arquitectura, 1953.

Hablar sobre una conclusión en una investigación que representa a una tesis de posgrado, implica cuando menos tratar de contestar directa y claramente las interrogantes que dieron pie a la creación de la hipótesis general, además de incluir los resultados obtenidos en la investigación.

Es decir, si esta investigación surgió del planteamiento de diversas *preguntas* que me inquietaban, *es necesario que ahora sean contestadas*, basándose en los resultados de las evidencias y los argumentos presentados.

Si los materiales más comunes de la industria de la construcción se conocen y utilizan desde hace más de 5,000 años, y si vivimos en una época de cambios generados por los avances en la ciencia y la tecnología, donde los descubrimientos derivados del análisis de lo que nos rodea, han propiciado inventos que parecen increíbles ante los ojos de nuestra generación; y si otras ramas del quehacer humano, distintas a la arquitectura, construyen y utilizan

materiales diferentes a los ocupados por nuestra disciplina, los arquitectos triste y claramente seguimos construyendo con los materiales y procedimientos constructivos que usaron nuestros antepasados, debido a distintas circunstancias:

La primera, que durante más de 5,000 años, la humanidad construyó con los materiales que el planeta *naturalmente* proporcionaba y sólo se dedicó a diseñar formas, estructuras y espacios dentro de las limitaciones y posibilidades que estos plantearon.

La segunda circunstancia se debe a la indiferencia de la arquitectura como gremio a los avances que en materiales y sistemas constructivos se han logrado en otras disciplinas. Pareciera que el arquitecto espera a que le digan cuál de estos materiales o sistemas se puede aplicar rápida y directamente a nuestros edificios, como si el arquitecto no tuviese la capacidad o el interés de tomar sus propias decisiones. La arquitectura ha aplicado con cautela, durante el transcurso de su historia, los nuevos materiales y técnicas

que bien podrían haber sido probadas y experimentadas en los edificios que construimos.

Esta última circunstancia es claramente evidente a partir del desarrollo de nuevos materiales con la Revolución Industrial. Inclusive ahora que ya hemos pasado por distintas y nuevas revoluciones industriales. Aunado a esto, los arquitectos actuales tratan incansablemente de copiar principios constructivos vernáculos o antiguos, donde su única innovación consiste en generar variaciones formales de lo construido por los pobladores del lugar. En nombre del regionalismo y de un romance mal, entendido se incurre en contradicciones cronotópicas que derivan en formalismos anacrónicos, que lo único que demuestran es la ignorancia y el aislamiento de la profesión del arquitecto ante la tecnología mundial desarrollada y actualmente disponible.

Sostengo que el estancamiento de los materiales constructivos actuales de la arquitectura, y sus procesos de producción y comercialización, son de alguna forma culpables indirectos del incremento del déficit mundial de vivienda e infraestructura. Sostengo también que un cambio en los sistemas constructivos, generado por nuevos materiales de edificación, permitirá concretar mejores, más limpios y eficientes procesos constructivos. No podemos seguir dañando al planeta con nuestros viejos materiales agresivos.

Cada momento histórico de la humanidad ha planteado grandes retos científicos y tecnológicos, visibles en el desarrollo industrial. Siendo la construcción una industria, quienes la conformamos, hemos alimentado su aislamiento y rezago, evitando jugar nosotros mismos el papel que nos corresponde: el de coordinadores de la industria de la construcción.

Con los nuevos descubrimientos en el área de la Investigación de Materiales, existen actualmente nuevos e interesantes materiales, que están surgiendo para solucionar problemas concretos, característicos y específicos, mediante un diseño riguroso. La tecnología actual, permite generar por primera vez en la historia de la humanidad, materiales con propiedades asombrosas, que pueden ser controladas bajo especificación directa del constructor.

Son disciplinas como la Ingeniería Molecular, la Ingeniería Biológica o la Ingeniería Genética quienes dirigen las principales investigaciones y desarrollos en la búsqueda e invención de estos asombrosos materiales.

Las investigaciones realizadas en el campo de los materiales deben tener como objetivo primordial generar nuevos conocimientos. La experimentación y la crítica estricta deben ser sus herramientas. El arquitecto no está acostumbrado al trabajo científico, y por esta causa son otros profesionales y especialistas los que investigan los nuevos conocimientos que nos interesan. Esto no es nuevo, y debido a ello, hemos perdido terreno ante nuevas disciplinas que se interesan en nuestra área. Un ejemplo son el ingeniero civil,

el diseñador industrial, el urbanista, el arquitecto paisajista y los científicos de otras disciplinas que son investigadores de materiales.

En los últimos años, y gracias al desarrollo tecnológico de la miniaturización de componentes y la Informática, ha cobrado fuerza el uso de una técnica llamada Nanotecnología, donde bajo el enfoque prospectivo y biomimético, se trata de copiar o mejorar a la naturaleza, construyendo átomo por átomo y molécula por molécula, materiales cuyas propiedades son radicalmente distintas de lo hasta ahora hemos visto.

La Nanotecnología nos permite crear materiales nanoestructurados con cualidades que la arquitectura del Siglo XXI deberá aprovechar para abatir, por ejemplo, los fuertes rezagos que hoy existen en materia de vivienda e infraestructura.

Esta revolución Nanotecnológica invierte el papel del constructor tradicional: Antes, un diseñador debía construir de acuerdo a las limitaciones que las propiedades de los materiales existentes le planteaban; ahora, el diseñador puede especificar claramente cómo deben ser y comportarse los materiales que requiere para cumplir con su objetivo. Es tarea de la industria fabricar estos nuevos materiales cumpliendo las especificaciones proporcionadas. La aparición de supermateriales, jamás observados, fabricados bajo especificación del diseñador, abre grandes posibilidades en la concepción espacial futura de nuestros edificios y ciudades.

Si se tiene el control de la capacidad térmica, acústica o resistente de un material, si se tiene la capacidad de jugar con su comportamiento cromoháptico ante las distintas radiaciones lumínicas, y si se puede controlar fácilmente su relación de peso - capacidad de carga - espesor, estamos entonces ante un futuro de la arquitectura, en donde los conceptos estructurales, de instalaciones, divisorios, protectivos y de confort, sufrirán grandes cambios.

Es claro que los materiales derivados de estas ingenierías, modificarán nuestra concepción actual del espacio arquitectónico, tal vez de una manera más radical que cuando apareció el hierro colado y el cristal a finales del siglo XVIII, la aparición del concreto armado a principios del siglo XX o la aparición de los plásticos en 1906. El cambio puede ser tan radical que es posible, si consideramos la fragmentación del conocimiento tecnológico dentro de la formación actual del arquitecto, que no seamos capaces de detectar a tiempo las potencialidades de estos nuevos materiales y aplicarlos correctamente a nuevos sistemas constructivos.

Podríamos incluso traicionarnos a nosotros mismos como gremio, y apoyándonos en una indiferencia total y la ausencia de una verdadera investigación científica, propiciar que la arquitectura como profesión pase a la historia entre

tantos oficios que se han perdido para siempre. En este campo estamos siendo desplazados claramente por todas las ingenierías mencionadas.

En el futuro, si el arquitecto no posee la formación adecuada, las ciudades y edificios que se construyan sobre la superficie terrestre, bajo el mar, en la órbita terrestre, en la superficie lunar o sobre el suelo de Marte, serán construidas por ingenieros y profesionales que conozcan y controlen estas nuevas técnicas, que entiendan y diseñen los nuevos materiales.

Sí, el problema radica fundamentalmente en la formación del arquitecto, reside en la capacidad de entender estos cambios tecnológicos, se encuentra en su capacidad de evaluar y diseñar los nuevos materiales de construcción factibles a partir del Siglo XXI.

Es por ello que mantengo como tesis que el arquitecto debe acercarse a los cambios científicos y tecnológicos, mediante un replanteamiento de la forma en la que se enseña la arquitectura. Por un lado la enseñanza de la arquitectura requiere integrar los conocimientos básicos de la Investigación de Materiales dentro de su currícula, y por el otro el arquitecto precisa poseer un Método objetivo de evaluación de nuevos materiales y sistemas constructivos.

La Investigación de Materiales requiere en los arquitectos de más matemáticas, de más conceptos de física, del conocimiento de la química y genética, y de una formación científica rigurosa que forme investigadores.

El Método de Evaluación se hace evidente ante las inmensas posibilidades y variantes que existirán comercialmente en los materiales de construcción disponibles. Conocer a fondo cada patrón y principio básico de la edificación arquitectónica, sirve no solo para conocer y evaluar sus diseños o los materiales, si no para construir mejor.

Con el conocimiento de los conceptos mencionados, se asegura la construcción de mejores espacios habitables dentro de nuestras ciudades. Debemos recuperar el modo objetivo de la elección de materiales y dejar de adquirirlos solo por su precio, apariencia o publicidad. Debemos elegirlos, pero tomando en cuenta siempre sus propiedades mínimas necesarias, que los requerimientos de cada partido arquitectónico especifican. Debemos aplicar el poder de los nuevos materiales y sistemas constructivos, al propósito que perseguimos en cada edificio, de la misma forma que la Ingeniería Molecular, la Ingeniería Biológica y la Ingeniería Genética lo aplican en la aviación, la cibernética, la electrónica y la conquista espacial.

Debemos retomar enfoques que se han aplicado en otras disciplinas distintas a la arquitectura. **El Enfoque Prospectivo ha sido el motor fundamental del desarrollo de la ciencia y la tecnología en el presente siglo.** Perseguir un sueño o deseo construyendo los pasos necesarios para lograrlo ha llevado al hombre a la Luna, a volar como las aves, a acabar con las enfermedades.

Los prospectólogos son necesarios en una sociedad que ve el futuro con esperanza y utiliza la técnica como herramienta. No son sólo tecnólogos sino que también son humanistas, puesto que persiguen un ideal humano con bases científicas.

A los ojos de cualquiera, la tarea prospectiva pareciera alejada del quehacer cotidiano y natural del arquitecto, pero esto no es verdad. **El arquitecto es prospectólogo por naturaleza:** durante el proceso de diseño, soñamos con un edificio que no se ha construido, que responde a una serie de necesidades e ideales, y buscamos los pasos necesarios para edificarlo, para ponerlo en pie. El edificio que queremos construir es elegido de un grupo de futuribles o posibles escenarios adecuados a nuestro objetivo, los cuales llamamos partidos arquitectónicos.

Sí, es cierto, **el arquitecto siempre ha usado la prospectiva, pero de forma inconsciente mientras que otras disciplinas la utilizan objetiva y sistemáticamente.** Debemos retomar este enfoque en nuestra formación así como con el cada vez más necesario rigor científico.

No debemos abandonar nuestra responsabilidad con la investigación científica, ni debemos tener miedo a ensuciarlos con los números. Debemos abandonar los conocimientos generales para adentrarnos en los conocimientos particulares.

Un arquitecto no sólo es artista, es técnico, y como tal debe controlar y encausar este tipo de conocimientos. En el gremio de los arquitectos, existe una carencia total de investigadores científicos. Se necesitan profesionales con un compromiso total con el conocimiento.

La investigación de materiales en la arquitectura mexicana debe salir del campo teórico y entrar de lleno a la experimentación directa de nuevos materiales en sistemas constructivos reales. **El Método de Evaluación que propongo servirá de herramienta de medición para esta necesaria e indispensable experimentación.**

Los arquitectos debemos actuar ya. Sostengo que al hacerlo, participaremos activamente en un futuro al servicio de la humanidad.

Bibliografía

Libros:

- ALEXANDER, Christopher, et al.**, *A Pattern Language / Un Lenguaje de Patrones: Ciudades, Edificios, Construcciones*, Editorial Gustavo Gili, S.A., Colección Arquitectura / Perspectivas, Barcelona, España, 1ª edición, 1980.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE**, *Reglamento de las Construcciones de Concreto Reforzado ACI 318 -71*, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., México, D.F., 1ª edición, 1974, imcyc@mail.internet.com.mx
- ANTONIADES, Anthony**, *Architecture and Allied Design: An Environmental Design Perspective*, Capítulo 7: The Technology of Architecture, Kendal Hunt Pub. Co. Dubuque, Iowa, EE.UU.
- ARNAL SIMÓN, Luis, et al.**, *Reglamento de Construcciones*, Para el Distrito Federal Ilustrado y Comentado, Editorial Trillas, S.A., México, D.F., 1ª edición, 1991.
- AZIMOV, Isaac**, *Cien Preguntas Básicas sobre la Ciencia*, Libro de Bolsillo, Alianza Editorial, S.A., Madrid, España, 1ª edición, 10ª reimpresión, 1996.
- BARBARÁ ZETINA, Fernando**, *Materiales y Procedimientos de Construcción*, Editorial Herrero, S.A., Vol. I y II, México, D.F., 8ª edición, 1982.
- BARBIER, Maurice, et al.**, *Diccionario técnico de edificación y obras públicas*, Ediciones Gustavo Gili, S.A., Colección Arquitectura y crítica, México, D.F., 4ª edición, 1982.
- BARDOU, Patrick, et al.**, *Sol y Arquitectura*, Editorial Gustavo Gili, S.A., Colección Tecnología y Arquitectura, Barcelona, España, pp. 45-83, 1ª edición, 1980.
- BOURELL, David L.**, *Synthesis and Processing of Nanocrystalline Powder*, The Minerals, Metals & Materials Society, TMS Publications, EE.UU., 1ª edición, 1996.
- BROADBENT, Geoffrey**, *Diseño Arquitectónico*, Arquitectura y Ciencias Humanas, Editorial Gustavo Gili, S.A., Colección Arquitectura / Perspectivas, Barcelona, España, 1ª edición, 1976.
- BROADBENT, Geoffrey, et al.**, *Metodología del Diseño Arquitectónico*, Editorial Gustavo Gili, S.A., Colección Arquitectura y Crítica, Barcelona, España, 1ª edición, 1971.
- BRONSON, Richard**, *Investigación de Operaciones*, McGraw - Hill / Interamericana de México, S.A. de C.V., Serie Schaum, México, D.F., 1ª edición, 1993.
- BROSTOW, Witold**, *Introducción a la Ciencia de los Materiales*, Editorial LIMUSA, S.A. de C.V., México, D.F., 1ª edición, 1981.
- CAPORIONI, et al.**, *La Coordinación Modular*, Instituto Universitario de Arquitectura de Venecia, Editorial Gustavo Gili, S.A., Colección Arquitectura y Crítica, Barcelona, España, 1ª edición, 1971.
- CARRERA CORTÉS, Eduardo**, *Catálogo CIHAC de la Construcción 97*, El Mercado Mexicano de la Construcción, Un perfil de su Industria y Servicios, Centro Impulsor de la Construcción y la Habitación, A.C., México, D.F., 10ª edición, 1997.
- CASTRO VILLALBA, Antonio**, *Historia de la Construcción Arquitectónica*, Colección Quaderns d'Arquitecte, Ediciones UPC (Universidad Politécnica de Cataluña), Barcelona, España, 1ª edición, 1995.
- CHUECA GOITIA, Fernando**, *Invariantes Castizos de la Arquitectura Española*, Invariantes en la Arquitectura Hispanoamericana, Manifiesto de la Alhambra, Editorial Dossat, S.A., Madrid, España, 1ª edición, 1981.
- CHURCHMAN, C. West**, *El Enfoque de Sistemas*, Editorial Diana México, México, D.F., pp. 17-99, 1ª edición, 1978.
- CROQUET, Michel**, *PC y Robótica*, Técnicas de Interfaz, Editorial Parainfo, México, 1ª edición, 1996.
- DARTON, Mike, Editor**, *The Illustrated Book of Architects & Architecture*, Tiger Books International PLC., Quientet Publishing Ltd., Londres, Inglaterra, 1ª edición, 1990.
- DAVIS, Robert H., et al.**, *Diseño de Sistemas de Aprendizaje*, Un enfoque del mejoramiento de la instrucción, Editorial Trillas, S.A. de C.V., México, D.F., 2ª edición, 1990.
- DE COUPLE, Andre**, *La Prospectiva*, Pronóstico de la Historia, Ediciones Oikos - Tau, S.A., Barcelona, España, 1ª edición, 1973.
- ESTEVA, José Antonio**, *Técnicas de Predicción Usuales en Prospectiva y Planeación*, Temas de Planeación, ANUIES - S.E.P., Coordinación Nacional para la Planeación de la Educación Superior, México, D.F., 1ª edición, 1982.
- FERNANDEZ ALBA, Antonio**, *Neoclasicismo y Postmodernidad*, En Torno a la Última Arquitectura, Biblioteca Básica de Arquitectura, Hermann Blume Ediciones, Madrid, España, 1983.
- FLEMING, William**, *Arte, Música e Ideas*, Nueva Editorial Interamericana, México, D.F., 1981.
- GALIANA MINGOT, Tomás de**, *Diccionario ilustrado de las ciencias*, Ediciones Larousse, S.A., México, D.F., 1ª edición, 1992.
- GANDHI, M.V., et al.**, *Smart Materials and Structures*, Chapman & Hall, Londres, 1ª edición, 1992.
- GARCÍA, A., et al.**, *Materiales compuestos de matriz metálica ligera, reforzados con SiCp*, Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica, CIDIM 97, (Cd. de la Habana, Cuba, 1997) p.240.
- GARCÍA DE LOS RÍOS COBO, José Ignacio, et al.**, *La Piedra en Castilla y León*, Junta de Castilla y León, Valladolid, España, 1ª edición, 1994.
- GIURGOLA, Romaldo, et al.**, *Louis I. Kahn*, Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona, España, (2ª ed.), 1981.
- Gran Enciclopedia Larousse**, Editorial Planeta, S.A., Barcelona, España, Tomos V y VIII, 15ª reimpresión, 1980.
- GRAS, Alain**, *Futurología*, - Clefs pour la Futurologie -, Colección Microcosmo, Ediciones Martínez Roca, S.A., Barcelona, España, 1ª edición, 1978.
- HESSEN, Johan**, *Teoría del Conocimiento*, Editores Mexicanos Unidos, S.A., Colección Ciencias Sociales, México, D.F., 6ª edición, 1982.
- JONES, Christopher**, *Métodos de Diseño*, Editorial Gustavo Gili, S.A., Colección Diseño, Barcelona, España, pp. 329-362, 3ª edición, 1982.
- JOSSE, Robert**, *La Acústica en la Construcción*, Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona, España, 1ª edición, 1975.
- KAHLER, Erich**, *¿Qué es la Historia?*, Fondo de Cultura Económica, Colección Breviarios, Número 187, México, D.F., 1ª edición, 1977.
- KERLINGER, Fred N.**, *Investigación del Comportamiento*, Editorial McGraw Hill / Interamericana de México, S.A., México, D.F., 2ª edición, 1988.
- KINSLER, Lawrence E., et al.**, *Fundamentos de Acústica*, Editorial LIMUSA, S.A. de C.V., México, D.F., 1ª edición, 1991.
- KOSTORZ, G., et al.**, *Materials under Extreme Conditions and Nanophase Materials*, Symposia Proceedings, Elsevier Sequoia, SA., European Materials Research Society, Commission of the

- European Communities, Lausanne, Suiza, 1ª edición, 1992.
- KRUMMENACKER, Markus, et al.,** *Prospects in Nanotechnology, Toward Molecular Manufacturing*, John Wiley & Sons Inc., EE.UU., 1ª edición, 1995.
- LANUZA, José A.,** *Operación Supervivencia*, El drama ecológico y usted, Editorial Offset, S.A., Colección Nuestro Tiempo, México, D.F., Vol. 40, 1ª edición, 1986.
- Le CORBUSIER, Hacia una Arquitectura**, Editorial Poseidón, S.L., Barcelona, España, 2ª edición, 1978.
- Le CORBUSIER, Mensaje a los Estudiantes de Arquitectura**, Ediciones Infinito, Buenos Aires, Argentina, 4ª edición, 1983.
- LIPSCHUTZ, Seymour, Probabilidad**, Teoría y 600 Problemas Resueltos, Libros McGraw - Hill de México, S.A. de C.V., Serie Schaum, México, D.F., 1ª edición, 1978.
- LIPSCHUTZ, Seymour, Teoría de Conjuntos y Temas Afines**, Teoría y 530 Problemas Resueltos, Libros McGraw - Hill de México, S.A. de C.V., Serie Schaum, México, D.F., 1ª edición, 1978.
- MANSELL, George, Anatomy of Architecture**, The Hamlyn Publishing Group Limited, Londres, Gran Bretaña, 1ª edición, 1979.
- MERELLO, Agustín, Prospectiva: Teoría y Práctica**, Ediciones Guadalupe, S.A., Buenos Aires, Argentina, 1ª edición, 1973.
- MIMS, Forrest M., III, Getting Started in Electronics**, Archer Radio Shack, EE.UU., 9ª edición, 1983.
- MOJICA SASTOQUE, Francisco, La Prospectiva: Técnicas para Visualizar el Futuro**, Colección Manuales Prácticos para Gerentes, Legis Editores, S.A., Santafé de Bogotá, Colombia, 1ª edición, 1991.
- MOYA RUBIO, Víctor José, La vivienda Indígena de México y el Mundo**, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1ª edición, 1978.
- MUNARI, Bruno, ¿Cómo nacen los objetos?**, Apuntes para una metodología proyectual, Editorial Gustavo Gili, S.A., Colección Diseño, Barcelona, España, 1ª edición, 1983.
- MÜNCH GALINDO, Lourdes, et al., Fundamentos de Administración**, Editorial Trillas, S.A. de C.V., México, D.F., 5ª edición, 1994.
- NERI VELA, Rodolfo, Estaciones Espaciales Habitadas**, Coedición de la NASA, la ESA, y Editorial Atlántida, S.A. de C.V., México, D.F., 1ª edición, 1993.
- OTTO, Frei, et al., Arquitectura adaptable**, Seminario organizado por el Instituto de Estructuras Ligeras (IL), Editorial Gustavo Gili, S.A., Colección Tecnología y Arquitectura, Barcelona, España, 1ª edición, 1979.
- PALMES, James C., Editor, Sir Banister Fletcher's A History of Architecture**, The Athlone Press University of London, Gran Bretaña, 7ª edición, 1975.
- PARDINAS, Felipe, Metodología y Técnicas de Investigación en Ciencias Sociales**, Introducción Elemental, Siglo XXI Editores, Colección Sociología y Política, México, D.F., 25ª edición, 1982.
- PAWLEY, Martin, Future Systems (The Story of Tomorrow)**, Phaidon Press, Inglaterra, 1ª edición, 1993.
- PAYÁ, Miguel, Aislamiento Térmico y Acústico**, Ediciones CEAC, S.A., Monografías CEAC de la Construcción, Barcelona, España, 15ª edición, 1991.
- PAZ, Octavio, Pasión Crítica**, Editorial Seix Barral, S.A., Biblioteca Breve, Barcelona, España, 1ª edición, 1985.
- PEÑA CARRERA, Pablo Francisco, Criterios Generales para el Proyecto Básico de Estructuras de Concreto**, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., México, D.F., 1ª reimpression, 1992.
- PEVSNER, Nikolaus, The sources of modern architecture and design**, Thames and Hudson, Ltd., Gran Bretaña, 1ª edición, 1968.
- PRIETO, Valeria, et al., Vivienda Campesina en México**, Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, México, D.F., 1ª edición, 1978.
- RAMSEY, Charles George, et al., Architectural Graphic Standards**, The American Institute of Architects, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, EE.UU., pp. 155-468 y 701-758, 8ª edición, 1988.
- ROSENBLUETH, Arturo, El Método Científico**, Centro de Investigación y Estudios Avanzados, México, D.F., 1a. Edición, 1971.
- ROUGERON, Claude, Aislamiento Acústico y Térmico en la Construcción**, Editores Técnicos Asociados, S.A., Barcelona, España, 1ª edición, 1977.
- SAECHTLING, Hansjürgen, Los plásticos en la construcción**, Editorial Gustavo Gili, S.A., Colección Tecnología de Plásticos, Barcelona, España, 1ª edición, 1978.
- SAGAN, Carl, El cerebro de Broca**, Reflexiones sobre el apasionante mundo de la ciencia. Ediciones Grijalbo, S.A., Serie Biología y Psicología de Hoy, México, D.F., Vol. 4, pp. 9-12, 1ª edición, 1984.
- SAGAN, Carl, El Mundo y sus Demonios**, La Ciencia como una Luz en la Oscuridad, Editorial Planeta Mexicana, S.A., México, D.F., 1ª edición, 1997.
- SÁNCHEZ GONZÁLEZ, Álvaro, Sistemas Arquitectónicos y Urbanos**, Introducción a la teoría de los sistemas aplicada a la arquitectura y al urbanismo, Editorial Trillas, S.A., México, D.F., 1ª edición, 1978.
- SOLERI, Paolo, Arcology: The City in the Image of Man**, This book is about miniaturization, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, EE.UU., 1ª edición, 3ª reimpression, 1983.
- SOLERI, Paolo, Fragments: A Selection from the Sketchbooks of Paolo Soleri**, Harper & Row Publishers, San Francisco, EE.UU., 1ª edición, pp. 53-55 y 167-169, 1980.
- SUMMERSON, John, El lenguaje clásico de la arquitectura**, De L.B. Alberti a Le Corbusier, Colección Punto y Línea, Editorial Gustavo Gili, S.A., Barcelona, España, 4ª edición, 1981.
- TAMAYO Y TAMAYO, Mario, Diccionario de la Investigación Científica**, Editorial LIMUSA, S.A. de C.V., México, D.F., 1ª edición, 1998.
- TAMAYO Y TAMAYO, Mario, El Proceso de la Investigación Científica**, Incluye Glosario y Manual de Evaluación de Proyectos, Editorial LIMUSA, S.A. de C.V., México, D.F., 3ª edición, 1998.
- TARNAI, Tibor, Geodesic Domes: Natural and Man - Made**, Special Issue on Morphology and Architecture, International Journal of Space Structures, Multi - Science Publishing Co. LTD., Volumen 11, Números 1 y 2, Essex, Inglaterra, pp. 13-25, 1996.
- THORPE, M.F., et al., Access in Nanoporous Materials**, Plenum Press, EE.UU., 1ª edición, 1995.
- TORRES, G., et al., Estudio de Biomateriales**. Informe final para la Dirección General de Asuntos del Personal Académico. PAPIIT 1997, 22 págs.
- TURNER, J.C., Matemática Moderna Aplicada**, Probabilidades, estadística e investigación operativa, Alianza Editorial, S.A., Madrid, España, 1ª edición, 1974.
- VILLAGRÁN GARCÍA, José, Estructura Teórica del Programa Arquitectónico**, Editorial del Colegio Nacional, Sobretiro de la Memoria del Colegio Nacional, Tomo VII, Núm. 1, año 1970, México, D.F., 1ª edición, 1972.
- VILLAGRÁN GARCÍA, José, Teoría de la arquitectura**, INBA - SEP, Cuadernos de arquitectura y conservación del patrimonio artístico, número extraordinario, México, D.F., 3ª edición, 1983.
- Von BERTALANFFY, Ludwig, Perspectivas en la Teoría General de Sistemas**, Estudios Científicos - Filosóficos, Alianza Editorial, S.A., Madrid, España, 1ª edición, 1979.
- Von der WEID, Jean - Noël, et al., Diccionario de Términos Científicos**, Acento Editorial, S.A., Madrid, España, 2ª edición, 1994.
- WARE, Dora, et al., Diccionario manual ilustrado de arquitectura**, Con los términos más comunes empleados en la construcción, Ediciones Gustavo Gili, S.A., Colección Arquitectura y crítica, México, D.F., 7ª edición, 1981.
- WEAVER, John H., Chemistry and physics of surfaces, interfaces, and nanostructures**, Department of Chemical Engineering and Material Science, University of Minnesota, 1998, <http://www.cems.umn.edu/>
- WHITEHOUSE, D.J., et al., Nanotechnology: Advances in Nanoscale Physics, Electronics and Engineering**, Adam Hilger, Gran Bretaña, 1ª edición, 1991.
- WILLIAMS, Christopher, Los orígenes de la forma**, Editorial Gustavo Gili, S.A., Colección Diseño, Barcelona, España, 1ª edición, 1984.
- WILLOUGHBY, Stephen S., Probabilidad y Estadística**, Publicaciones Cultural, S.A., México, D.F., 1ª edición, 5ª reimpression, 1977.

WRIGHT, Frank Lloyd, *El futuro de la Arquitectura*, Editorial Ppsidón, S.L., Barcelona, España, 3ª edición, 1978.

Artículos:

- ALEXANDER, Charles P., et al., *State of the planet: A special report*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 34-49, Noviembre 7 de 1994.
- ÁLVAREZ FREGOSO, Octavio, *Materiales Nanoestructurados*, Instituto de Investigación de Materiales, Departamento de Materiales Metálicos y Cerámicos, UNAM, Ciudad Universitaria, agosto de 1998.
- ÁLVAREZ-FREGOSO, Octavio, et al., *Quantum Confinement in Nanostructured Cdnite Composite Thin Films*, J. Appl. Phys. 82 (2), 708 1997.
- AMLANI, I., *Realization of a funtional cell for quantum-dot cellular automata*, Science Magazine 277: 928-930, <http://www.sciencemag.org/cgi/gca/SEAR/CH1...28&SENDIT=Get+Alt+Checked+Abstract%28s%29>
- ANDERSON, Walter Truett, *A New Shade of Green*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., p. 37, marzo 23 de 1998.
- ARMBRUSTER, Paul, et al., *Making New Elements*, Scientific American Magazine, Volumen 279, Número 3, Nueva York, EE.UU., p. 28, septiembre de 1998.
- BARRET, Morris, *Robo - Doc to the Rescue: Telemedicine*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., p. 17, noviembre 13 de 1995.
- BETANCOURT, J. Israel, *Propiedades magnéticas en aleaciones nanoestructuradas*, Ciencias de Materiales, Fac. de Ciencias, UNAM. Director: Dr. Raúl A. Valenzuela Monjarás, febrero de 1997.
- CHAVARRÍA, Luis, *Puesta en marcha de un dispositivo para obtener muestras con doble efecto memoria de forma*. Ing. Mecánica, ENEP-UNAM. Director: Dr. Horacio Flores Zúñiga, marzo de 1997.
- CHÁVEZ CARVAYAR, José A., *Elaboración y caracterización de materiales electrocerámicos*, Instituto de Investigación de Materiales, Departamento de Materiales Metálicos y Cerámicos, UNAM, Ciudad Universitaria, agosto de 1998.
- CHÁVEZ CARVAYAR, José A., *Materiales Cerámicos Nanoestructurados*, Instituto de Investigación de Materiales, Departamento de Materiales Metálicos y Cerámicos, UNAM, Ciudad Universitaria, agosto de 1998.
- CRONIN, Helena, *The Evolution of Evolution*, Time Magazine, Special Issue, Nueva York, EE.UU., pp. 56-61, diciembre de 1997-enero de 1998.
- CUBELLS, Miguel Ángel, *Nanotecnología: De ninguna forma: Así serán los muebles del futuro*, Revista Quo El saber actual, Madrid, España, pp. 110-112, abril de 1998.
- DALE, Reginald, et al., *Toward The Millennium: The economic revolution has begun*, Global Agenda, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 34-49, marzo 13 de 1995, [HTTP://pathfinder.com/](http://pathfinder.com/)
- DECHER, Gero, *Fuzzy Nanoassemblies: Toward Layered Polymeric Multicomposites*, Science Magazine 277: 1232-1237 <http://www.sciencemag.org/cgi/gca/SEAR/CH1...28&SENDIT=Get+Alt+Checked+Abstract%28s%29>
- DIBBELL, Julian, et al., *Tiny Technology: Little is Big*, Global Agenda, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 50-61, diciembre 2 de 1996, [HTTP://pathfinder.com/](http://pathfinder.com/)
- DYSON, Freeman J., *El mundo, la carne y el demonio*; Conferencia sobre la obra de J. D. Bernal: La Ingeniería Biológica, Birbeck College of London, Inglaterra, 2ª impresión, 1972, [HTTP://www.gps.caltech.edu/~eww/bios/dyson.html](http://www.gps.caltech.edu/~eww/bios/dyson.html)
- DYSON, Freeman J., *Through a Glass, Brightly*, Time Magazine, Special Issue, Nueva York, EE.UU., pp. 95, diciembre de 1997-enero de 1998.
- ELMER - DEWITT, Philip, *The Genetic Revolution*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 30-35, Enero 17 de 1994.
- FEYNMAN, Richard P., *There's Plenty of Room at the Bottom*, An Invitation to Enter a New Field of Physics, Engineering and Science Magazine of California Institute of Technology (Caltech), EE.UU., (Ponencia), diciembre 29 de 1959, [HTTP://nano.xerox.com/nanotech/feynman.html](http://nano.xerox.com/nanotech/feynman.html)
- FRAUENFELDER, Mark, *Smart Parts*, Wired Magazine, EE.UU. Volumen 6, Número 8, pp.103-109, agosto de 1998.
- GEARY, James, *Green Machines*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 30-36, marzo 23 de 1998.
- GIBBS, Wayt W., *Smart materials*, Scientific American, 1998, <http://www.sciam.com/explorations/05059/6explorations.html>
- GIMZEWSKI, James, *Breakthroughs: Technology: Molecule Motor*, Discover The World of Science Magazine, Volumen 19, Número 11, Nueva York, EE.UU., p. 34, noviembre de 1998.
- GOURLEY, Paul L., *Nanolasers*, Scientific American Magazine, Volumen 278, Número 3, Nueva York, EE.UU., pp. 40-45, marzo de 1998.
- HALL, Alan, *A Turn of the Gear*, Scientific American, abril 28, 1997, <http://www.sciam.com/exhibit/04289/gear/04289/nano.html/>
- HEATH, James R., et al., *A defect-tolerant computer architecture: Opportunities for nanotechnology*, Science Magazine 280: 1716-1721, <http://www.sciencemag.org/cgi/gca/SEAR/CH1...28&SENDIT=Get+Alt+Checked+Abstract%28s%29>
- HEGEMIER, Gilbert, *B - 2 Bridge*, Technology Review, MIT's Magazine of Innovation, Volumen 101, Número 6, Boston, EE.UU., p. 19, noviembre - diciembre 1998.
- HINOJOSA, M., et al., *Synthesis of blue luminescent nanoparticles based on sparked silicon*, Scripta Metall. Mater. 36 (5), 503 1997.
- HIVELY, Will, *The Incredible Shrinking Finger Factory*, Discover The World of Science Magazine, Volumen 19, Número 3, Nueva York, EE.UU., pp. 84-93, marzo de 1998.
- HOLLISTER, Anne, et al., *Our Next Home Mars: Bringing a dead world to life*, Life Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 24-38, mayo de 1991.
- INGBER, Donald E., *The architecture of life*, Scientific American, enero de 1998.
- ISAACSON, Walter, *Our Century... and the Next*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 26-31, Abril 13 de 1998.
- IYER, Pico, *Jet-Age Bedouins*, Wired Magazine, EE.UU. Volumen 6, Número 8, pp.103-109, agosto de 1998.
- JACKSON, James O., *Off the screen*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 52-53, julio 17 de 1995.
- JAROFF, Leon, *Tiny Technology: A New Lilliputian World of Micromachines*, Global Agenda, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 62-64, diciembre 2 de 1996, [HTTP://pathfinder.com/](http://pathfinder.com/)
- JUÁREZ, Geraldine, *Nanotecnología*, El Futuro está en los Átomos, Sputnik Cultura Digital, Contempo Publicidad S.A., México, D.F., pp. 24-27, Número 5, Año 1, 1998.
- JUÁREZ ISLAS, Julio, *Desarrollo de nuevos materiales estructurales*, Instituto de Investigación de Materiales, Departamento de Materiales Metálicos y Cerámicos, UNAM, Ciudad Universitaria, agosto de 1998.
- JUÁREZ ISLAS, Julio, *Síntesis de Materiales Nanoestructurados por Molienda a Baja Temperatura*, Instituto de Investigación de Materiales, Departamento de Materiales Metálicos y Cerámicos, UNAM, Ciudad Universitaria, agosto de 1998.
- KLUGER, Jeffrey, *Can we stay young?*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 50-60, noviembre 25 de 1996, [HTTP://pathfinder.com/](http://pathfinder.com/)
- KRANTZ, Michael, *Building a Better World - Atom by Atom*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 66-67, diciembre 2 de 1996, [HTTP://pathfinder.com/](http://pathfinder.com/)
- LAU, L., et al., *Synthesis of nanocrystalline M50 steel powders by cryomilling*, Nanostruc. Mater. 7(8), 847, 1997.
- LEMONICK, Michael D., *Future tech is now*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 34-39, julio 17 de 1995, [HTTP://pathfinder.com/](http://pathfinder.com/)
- LINDEN, Eugene, *Megacities*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 22-35, Enero 11 de 1993.
- LOMBARDO DE RUIZ, Sonia, *Las pinturas de Cacaxtla*, Revista Arqueología Mexicana, Volumen 3, Número 13, pp. 31-36, mayo-junio de 1995.
- MAGONOV, Sergei, et al., *Atomic force microscopy of polymers: Studies of thermal phase transitions*, Digital

- Instruments, 1998,
<http://www.di.com/AppNotes/Polythermal/PIMain.html>
- MENDOZA LÓPEZ, Doroteo**, *Síntesis y Caracterización Física de Diferentes Formas del Carbono: Fullerenos*, Instituto de Investigación de Materiales, Departamento de Estado Sólido y Criogenia, UNAM, Ciudad Universitaria, agosto de 1998.
- MURILLO, N.**, *Creep-induced magnetic anisotropy and magnetostriction in Co-based nano crystalline alloy*, J. Appl. Phys. 81 (8), 5683, 1997.
- MURRAY - LASSO, Marco A.**, *La Revolución Electrónica del Carbón*, Viñetas Tecnológicas, Periódico Humanidades, Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM, México, D.F., Número 161, p. 21, abril 15 de 1998.
- NASH, J. Madeleine**, *Copying What Comes Naturally*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 38-39, marzo 8 de 1993, [HTTP://pathfinder.com/](http://pathfinder.com/)
- OCAMPO RUIZ, Ernesto**, *El Futuro de la Arquitectura*, Trabajo para ingresar a la Maestría de Arquitectura Tecnología, Unidad de Posgrado, Facultad de Arquitectura, U.N.A.M., México, D.F., Ponencia, mayo - julio de 1996. roernie@servidor.unam.mx
- OCAMPO RUIZ, Ernesto**, *Materiales Modernos Aplicables a la Prefabricación del Futuro*, Trabajo presentado como Investigación Final en el Seminario de Temas Selectos II Prefabricación, Unidad de Posgrado, Facultad de Arquitectura, U.N.A.M., México, D.F., Ponencia, agosto - noviembre de 1996, roernie@servidor.unam.mx
- OCAMPO RUIZ, Ernesto**, *Nanotecnología y Arquitectura*, Revista Construcción y Tecnología, Volumen X, Número 117, ISSN 0187-7895, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., México, D.F., pp. 28-35, febrero de 1998, imcyc@mail.internet.com.mx
- OCAMPO RUIZ, Ernesto**, *Materiales de Construcción para el Siglo XXI, Nanotecnología aplicada a la arquitectura: La Ciencia y la Técnica al Servicio de la Población Mundial*, Ponencia ofrecida en el Simposio Multidisciplinario "Ciencia y Técnica al Servicio de la Población" organizado por la Unidad de Formación y Extensión Tecnológica para la Comunidad Universitaria (UFET.CU), UNAM, México, D.F., 7 de octubre de 1998, roernie@servidor.unam.mx
- O'HANLON, Redmond**, *A Sense of Wonder*, Time Magazine, Special Issue, Nueva York, EE.UU., pp. 37, diciembre de 1997-enero de 1998.
- POOL, Robert**, *Atom Smith*, Discover Magazine, EE.UU., diciembre de 1995, [HTTP://www.eneews.com/magazines/discover/magtx/120195-7.html](http://www.eneews.com/magazines/discover/magtx/120195-7.html)
- POTERA, Carol**, *Nanotech: Nature's Nano-beakers*, Technology Review, MIT's Magazine of Innovation, Volumen 101, Número 6, Boston, EE.UU., p. 27, noviembre - diciembre 1998.
- ROGER, Jim**, *Investing: Back to Basics: Raw Materials are on the Rise*, Global Agenda, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 50-51, marzo 13 de 1995, [HTTP://pathfinder.com/](http://pathfinder.com/)
- ROACH, Stephen S.**, *Computers Can Do a Great Job - Yours*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 28-29, noviembre 13 de 1995.
- ROMER, Paul**, *The Mother of Invention*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., p. 72, Número Especial 1997.
- ROTMAN, David**, *Nanotechnology: Art of the Possible*, An Interview with George M. Whitesides, Technology Review, MIT's Magazine of Innovation, Volumen 101, Número 6, Boston, EE.UU., pp. 84-87, noviembre - diciembre 1998.
- SANSORES CUEVAS, Enrique**, *Simulación de materiales*, Instituto de Investigación de Materiales, Departamento de Estado Sólido y Criogenia, UNAM, Ciudad Universitaria, agosto de 1998.
- SCOTT, Phil**, *Composite Sketch*, Scientific American Magazine, Volumen 278, Número 3, Nueva York, EE.UU., pp. 20-21, marzo de 1998.
- SIEGEL, Richard W.**, *Creating Nanophase Materials*, Scientific American Magazine, Volumen 275, número 6, Nueva York, EE.UU., pp. 74-79, diciembre 1996, [HTTP://www.sciam.com/](http://www.sciam.com/)
- SIEGEL, Richard W.**, *Nanostructured Materials*, presentada en la Conferencia Nanoparticuladas '94, Monterey California, EE.UU., (Ponencia), noviembre 14 y 15 de 1994, [HTTP://www.nanophase.com](http://www.nanophase.com)
- SIEGEL, Richard W.**, *What Is So Special About Nanostructured Materials and Coatings?*, presentada en la Conferencia Nanostructured Materials and Coatings '95, EE.UU., Ponencia, 1995, [HTTP://www.nanophase.com](http://www.nanophase.com)
- SKOW, John, et al.**, *Environment: State of the Planet*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 44-61, octubre 30 de 1995, [HTTP://pathfinder.com/](http://pathfinder.com/)
- SPIWAK, Mark**, *Build a Solid State Cooler*, Popular Electronics Magazine, A Gernsback Publication, Nueva York, EE.UU., pp. 37-39 y 95, abril 1994.
- STIX, Gary**, *Micromechanics: Little Bangs, Making thrusters for micromachines*, Scientific American Magazine, Volumen 279, Número 5, Nueva York, EE.UU., p. 28, noviembre de 1998.
- TORRES, G.**, *Metales que se comportan como plásticos*, Scientific American en Español (248), p. 80, 1997. Prensa Científica, España.
- TRAUTMAN, Rachael, et al.**, *Microdiamonds*, Scientific American Magazine, Volumen 279, Número 2, Nueva York, EE.UU., pp. 82-87, agosto de 1998.
- TROSKY, Will**, *Have Buckminsterfullerenes (Buckyballs) Been Put To Any Practical Uses? I Remember Hearing That They Might Be Utilized To Produce Exceptional Lubricants. For Example*, Scientific American, agosto de 1998, <http://www.sciam.com/askexpert/chemistry//chemistry9.html>
- USHER, Rod**, *The Third Wave*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 66-69, Número Especial 1997.
- WILSON, Edward O.**, *Wildlife: Legions of the Doomed*, Time Magazine, Nueva York, EE.UU., pp. 51-54, octubre 30 de 1995, [HTTP://pathfinder.com/](http://pathfinder.com/)
- WONG, Eric W.**, *Nanobeam mechanics: elasticity, strength and toughness of nanorods and nanotubes*, Science Magazine 277: 1971-1975, <http://www.sciencemag.org/cgi/gca/SEAR/CH1...28&SENDIT=Get+Alt+Checked+Abstract%28s%29>
- YACAMÁN, M. José, et al.**, *Maya Blue Paint: An Ancient Nanostructured Material*, Science Magazine, American Association for the Advancement of Science, Volumen 273, número 5272, Nueva York, EE.UU., pp. 223-225, julio 12 de 1996.

Recursos de Internet:

- ALIVISATOS, Paul, et al.**, *Nanoelectrodes Enable Electronic Studies of Single Nanocrystals*, LBNL Materials Science Division, 1998, <http://www.lbl.gov/~msd/Pts/Alivisatos/96/Nano96hl.html>
- ALIVISATOS, Paul, et al.**, *Nanocrystal Structures Built On A DNA Scaffold*, Defined Geometries Achieved through Watson - Crick Base Pairing, LBNL Materials Science Division, 1998, <http://www.lbl.gov/~msd/Pts/Alivisatos/96/NanoCrys96hl.html>
- BURWARD-HOY, Jane**, *Fullerene and nanostructure synthesis*, Zettl Group Page, 1998, <http://www.physics.berkeley.edu/research/zettl/people/jbhoy.html>
- CHOPRA, Nasreen**, *Research on Boron, Carbon, and Nitrogen Nanotubes*, Zettl Group Page, 1998, <http://www.physics.berkeley.edu/research/zettl/people/nchopra.html>
- DREXLER, K. Eric**, *Engines of Creation*, The Coming Era of Nanotechnology, Anchor Books, EE.UU., 1ª edición, 1986, [HTTP://www.asiapac.com/enginesofcreation/eoc_aknowledgments.html](http://www.asiapac.com/enginesofcreation/eoc_aknowledgments.html)
- DREXLER, K. Eric**, *Nanosystems: molecular machinery, manufacturing, and computation*, Wiley Interscience, EE.UU., 1ª edición, 1992, [HTTP://www.wiley.com/](http://www.wiley.com/)
- DREXLER, K. Erick**, *New Paradigms For Using Computers*, Institute for Molecular Manufacturing, 1998, <http://www.almaden.ibm.com/cs/user/npuc1998/drexler/drexler.html>
- GLOBUS, Al, et al.**, *Machine Phase Fullerene Nanotechnology*, MRJ Technology Solutions, Inc. en el NASA Ames Research Center, 1998, <http://science.nas.nasa.gov/Groups/Nanotech/e...ublications/1997/FullereneNanotechnology/>
- GLOBUS Al, et al.**, *A Scientist Discovers what Exists, An Engineer Creates what Never Was*, MRJ Technology Solutions, Inc. at

- NASA Ames Research Center, 1998, <http://science.nas.nasa.gov/globus/home.html>
- HIZUME, Akio, *Atomic Structures and Architectures*, C&C for Human Potential, NEC, agosto de 1998, http://www.nec.co.jp/english/today/corpcomm/c_and_c/kal01/syo01/setu02.html
- IJIMA, Sumio, *Engineering Design of new Structures*, C&C for Human Potential, NEC, agosto de 1998, http://www.nec.co.jp/english/today/corpcomm/c_and_c/kal01/syo01/setu02.html
- IJIMA, Sumio, *Inspirations derived from bambooware*, C&C for Human Potential, NEC, agosto de 1998, http://www.nec.co.jp/english/today/corpcomm/c_and_c/kal01/syo01/setu02.html
- IJIMA, Sumio, *Serendipity; about creativity*, C&C for Human Potential, NEC, agosto de 1998, http://www.nec.co.jp/english/today/corpcomm/c_and_c/kal01/syo01/setu02.html
- IJIMA, Sumio, *Structural Analysis using Super computers*, C&C for Human Potential, NEC, agosto de 1998, http://www.nec.co.jp/english/today/corpcomm/c_and_c/kal01/syo01/setu02.html
- IJIMA, Sumio, *Zooming in on Atomic Structure*, C&C for Human Potential, NEC, agosto de 1998, <http://www.nec.co.jp/english/today/corpcomm/c/>
- JACOB, J. Paul, *Technology trends-Linear advancement law (L.A. Law)*, Informatics, 1998, <http://www.almaden.ibm.com/CS/informatics/tech.html>
- MORGAN, Sean, *Nanotechnology timeline*, 1998, <http://www.lucifer.com/caracter126/sean/N-FX/>
- MORRIS, Luc, *Lilliputian limits*, IBM Research explorer, 1998, <http://www.almaden.ibm.com/cs/informatics/mm.html>
- Nanommat, Inc., Technology company, Home Page, 1998, <http://www.nanommat.com/index.htm>
- PLATT, Charles, *The museum of nanotechnology*, Wired Magazine, 1998, <http://www.wired.com/wired/scenarios/museum.html>
- PORTER, Linda, *Microgravity science-Aerogel in your house, The house of the future*, Space Science News, julio de 1998, <http://science.nasa.gov/newhome/help/tutorials/housefuture.htm>
- Positioning progress*, IBM's pioneering efforts in nano - engineering first began in its Zurich Research Laboratory, LEAD STORY, IBM, 1998, <http://www.ibm.com/Stories/1997/12/sm5.html>
- SMALLEY, Richard E., *Nanotechnology and the next 50 years*, Univerity of Dallas, Board of Councilors, diciembre 7, 1995, <http://cnst.rice.edu/dallas12-96.html>
- SMALLEY, Richard E., *Carbon Nanotechnology at Rice*, Rice University, CNL Carbon Nanotechnology Laboratory, Houston, Texas, 1998.
- Small wonders*, LEAD STORY, IBM, 1998, <http://www.ibm.com/Stories/1997/12/sm1.html>
- SPENCE, Bill, *et al.*, *Smart and Super Materials*, Nanotechnology Magazine, 1998, <http://nanozine.com/NANOMAS.HTM>

Video:

- LIEBMAN, Adrew, *Destination: Mars*, The Cedd-Angier, NASA and Discovery Channel Video, EE.UU.50 min, cassette 1 y 2, 1996.
- SUMMERILL, Mary, *et al.*, *Image Intensifiers*, Nature By Design, A BBC - TV Production, in Association with Lionheart Television International Inc., Bristol, Inglaterra, 50 minutos, 1993.
- SUMMERILL, Mary, *et al.*, *Living a Material World*, Nature By Design, A BBC - TV Production, in Association with Lionheart Television International Inc., Bristol, Inglaterra, 50 minutos, 1993.
- SUMMERILL, Mary, *et al.*, *The Impulse of Design*, Nature By Design, A BBC - TV Production, in Association with Lionheart Television International Inc., Bristol, Inglaterra, 50 minutos, 1993.
- SUMMERILL, Mary, *et al.*, *The Protection Racket*, Nature By Design, A BBC - TV Production, in Association with Lionheart Television International Inc., Bristol, Inglaterra, 50 minutos, 1993.
- SUMMERILL, Mary, *et al.*, *The Shape of Things to Come*, Nature By Design, A BBC - TV Production, in Association with Lionheart Television International Inc., Bristol, Inglaterra, 50 minutos, 1993.
- SUMMERILL, Mary, *et al.*, *The Speed Trap*, Nature By Design, A BBC - TV Production, in Association with Lionheart Television International Inc., Bristol, Inglaterra, 50 minutos, 1993.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- Aglomerado.** Conjunto de partículas unibles por un Aglomerante. En el Concreto, la Grava y la Arena son un ejemplo.
- Aglomerante.** Conjunto de partículas que unen a un Aglomerado. En el Concreto, el Cemento es un ejemplo.
- Agregado.** Toda partícula utilizada como aglomerado.
- Alúmina.** Nombre común del Óxido de Aluminio (Al_2O_3).
- Amorfo.** Que carece de formas regulares.
- Anatasa.** Nombre científico del Óxido de Titanio (TiO_2). También se le conoce por Olsanita y Octaedrita. Su nombre común es Titanita.
- Anforilla.** Cántaro pequeño antiguo de dos asas, utilizado en el para aligerar colados de argamasa.
- Aparejo.** Forma de distribución o acomodo de los mampuestos, ladrillos y sillares en un muro, contrafuerte, bóveda o cúpula.
- A priori.** Voz latina que significa por lo que precede. Dicese de los conocimientos que son independientes de la experiencia o de las afirmaciones sin verificación previa.
- Área Específica de Partícula.** El área total de la superficie de una partícula expresada en metros cuadrados por gramo (m^2/g).
- Arbotante.** Arco gótico que se apoya en su extremo inferior sobre un botarel, y contrarresta por el superior el empuje de un arco o bóveda. Conocido como arco botarel.
- Arco de descarga.** El que se construye sobre un dintel para quitar del último la carga directa correspondiente a los muros superiores.
- Arco fajón.** El que sobresale del intradós de una bóveda.
- Arco formero.** Cada uno de los arcos sustentantes de una nave con bóvedas por arista o de crucería paralelos al eje principal de la misma.
- Arco mixto.** Arco construido con armaduras de hierro combinados con sillería utilizado en el siglo XIX.
- Arco mozarabe.** Conocido como arco de herradura, donde el círculo semicompleto le da forma, respetando claros menores al diámetro.
- Arco ojival.** Arco gótico apuntado, formado por dos arcos de círculo que se intersectan en la clave.
- Arco por roscas.** Arco que enmarca el acceso consistente en varios arcos de medio punto en cantiliver, provocando un remetimiento en fachada, utilizado en el Románico y el Renacimiento.
- Aracuación.** Moldura o faja en forma de arcos con que se adornan las partes altas de las construcciones románicas y góticas.
- Argamasa.** Mortero resultante de la mezcla de cal, arena y agua.
- Arquería.** Conjunto de arcos decorativos.
- Arquitrabe.** Parte inferior de un entablamento, que descansa directamente sobre el capitel de la columna.
- Arte.** Del latín *Ars, Artis* técnica romana. Método o conjunto de reglas para ejecutar correctamente un trabajo, aplicado a la habilidad, talento, destreza o maña. Su concepto se ha degenerado a través de los siglos para contraponerlo con la técnica.
- Artesanía.** Trabajo manual que ejercita un gremio o familia, cuyo conocimiento se ha heredado.
- Astracum.** Mortero Hidráulico Coloreado utilizado en España en la época postromana como colado en pavimentos.
- Átomo.** La partícula estable más pequeña posible de un elemento químico. Un átomo tiene un diámetro aproximado de entre 1 y 5 nanómetros. El átomo de Hidrógeno mide 1 nanómetro mientras que el átomo de Cesio mide 5 nanómetros.
- BET.** Técnica de Absorción de Gas que permite medir el área específica de las partículas. Llamada así por sus descubridores Brunauer, Emmet y Teller.
- Botarel.** Contrafuerte gótico saliente del paramento de un muro.
- Bóveda arqueada.** Bóveda de medio punto con arcos visibles en su desarrollo interior.
- Bóveda baída.** Se debe escribir vaída. La que resulta de cortar una bóveda esférica con paredes levantadas en el perímetro de una figura inscrita en el círculo de la planta. La figura puede ser un cuadrado o un polígono regular.
- Bóveda bizantina.** Bóveda de arista con dirección de trazo distinta a la bóveda de crucería romana.
- Bóveda de cañón corrido.** Llamada también bóveda de aire o medio punto. Superficie cilíndrica apoyada en dos muros paralelos.
- Bóveda ojival.** La que presenta un perfil de ojiva, característica de la arquitectura gótica. Forma derivada de la bóveda de arista.
- Bóveda por arista.** La formada por la intersección de dos bóvedas en cañón, que tienen el mismo plano de arranque e igual monte.
- Bóveda tabicada.** La construida con ladrillos asentados de plano sobre la cumbre y colocados de canto formando un muro curvo.
- Bóveda.** Techo o cubierta de superficie curva.
- Caementa.** Conglomerante romano hidráulico, obtenido de la calcinación de margas arcillosas por debajo del punto de vitrificación y molido en fino.
- Caementario.** Nombre que se le dio al oficio de albañil en la época postromana en España.
- Capa.** Estrato de Material aplicado cuya característica es ser homogénea y poseer un espesor. Las capas se adhieren a otras capas generalmente.
- Casetón.** Compartimento ahuecado en techos y bóvedas.
- Catenaria.** Curva que forma una cadena o cuerda colgada y atirantada en sus dos extremos.
- Celosía.** Enrejado de madera, piedra o hierro, que se coloca en muros y ventanas para el paso libre del aire, de origen mozarabe e islámico.
- Cemento Hidráulico.** Mortero que se endurece al contacto con el agua. Está compuesto de cal, sílice, alúmina, óxido de hierro, anhídrido sulfúrico, y magnesia.
- Cerámica.** Material Sólido no metálico e inorgánico. Uno de los cuatro grupos de materiales usados en la arquitectura.
- Cercha.** Armadura para cubierta o cimbra, fabricada de madera o hierro en forma generalmente curva u ojival.
- Cérica.** Nombre científico del Óxido de Cerio (CeO_2).
- Circona.** Nombre científico del Óxido de Circonio (ZrO_2).
- Condensación.** Cambio de estado de un vapor que se convierte en un sólido o líquido.
- Contrafuerte.** Macizo de obra adosado a una pared, que le da refuerzo a los puntos de apoyo de arcos o de vigas muy cargadas.
- Cromilo.** Nombre científico del Óxido de Cromo (CrO_2).
- Cristal.** Cuerpo sólido cuyos átomos están unidos en una forma regular y geométrica.
- Cromoháptica.** Manejo de la textura y el color superficial, de acuerdo con el claroscuro

FALTA PAGINA

No. 80

Picómetro. Milésima de nanómetro o billonésima de Metro (1×10^{-12}). Su símbolo es pm.

Polímero. Material cuya estructura está compuesta de macromoléculas formando generalmente cadenas. Uno de los cuatro grupos de materiales usados en la arquitectura.

Presión Atmosférica. Presión del Aire en condiciones ambientales comunes.

Principio de Aplicación del Diseño Constructivo. Procedimiento constructivo.

Procedimiento Constructivo. Véase Sistema Constructivo.

Producto Terminado. Material constructivo que en sí mismo posee mezclados o integrados industrialmente varios materiales primarios, donde su característica más importante es que tiene una forma definida y diseñada.

Profusión. Exceso de existencia o presencia.

Reproductor. Sistema que puede copiarse a sí mismo.

Pulvis puteolani. Polvo puzolánico con el que los romanos crearon el cemento y el concreto simple.

Semiconductor. Material sólido no metálico, generalmente opaco y cristalino, capaz de regular la transmisión de la electricidad. Uno de los cuatro grupos de materiales usados en la arquitectura.

Sistema. Conjunto de principios verdaderos o falsos reunidos entre sí, de modo que formen un cuerpo integral y homogéneo.

Sistema Constructivo. Proceso de producción edificatorio conocido como procedimiento constructivo. Transformación final del Material de Construcción. Componente del espacio delimitante o edificado dentro del espacio arquitectónico.

Sistema Edificio. Espacio Arquitectónico que posee un conjunto de elementos construidos (subsistemas, componentes, y subcomponentes), que interactúan empleando recursos limitados, para cumplir objetivos definidos, a un nivel de eficiencia admisible, durante periodos de tiempo específicos.

Subsistema Edificado. Espacio arquitectónico delimitante, donde los Componentes Construidos transforman al material de construcción para producir una envoltura delimitante del espacio habitable. Espacio físico que ocupan los materiales constructivos transformados.

Subsistema Habitable. Espacio arquitectónico delimitado en el que nos movemos y convivimos.

Sul géneris. De su especie. Se emplea irónicamente para acentuar la característica única de una cosa.

Tamaño Promedio de Partículas. La media aritmética del tamaño de todas las partículas examinadas en la muestra.

Técnica constructiva. Conjunto de procedimientos necesarios para construir una obra.

Técnica. (Τεχνη), arte en griego. Conjunto de procedimientos y recursos de que se sirve un arte o ciencia. Habilidad para usar esos procedimientos.

Tecnología constructiva. Estudio de la técnica de la construcción de una obra. Conjunto de términos técnicos de la construcción. Estudio de los métodos, medios o procedimientos para la construcción o edificación industrializada.

Tecnología. Estudio de la técnica de un arte o ciencia. Ciencia de las artes y oficios en general. Conjunto de conocimientos y términos técnicos de un arte o ciencia. Estudio de los métodos, recursos o procedimientos para la producción industrializada.

Titania. También llamado Titánica. Nombre común del Óxido de Titanio (TiO_2).

Variable. Aspecto o dimensión de un fenómeno observado que puede asumir diferentes valores en un periodo de tiempo.

Variable Continua. Aquella que toma cualquier valor de un intervalo.

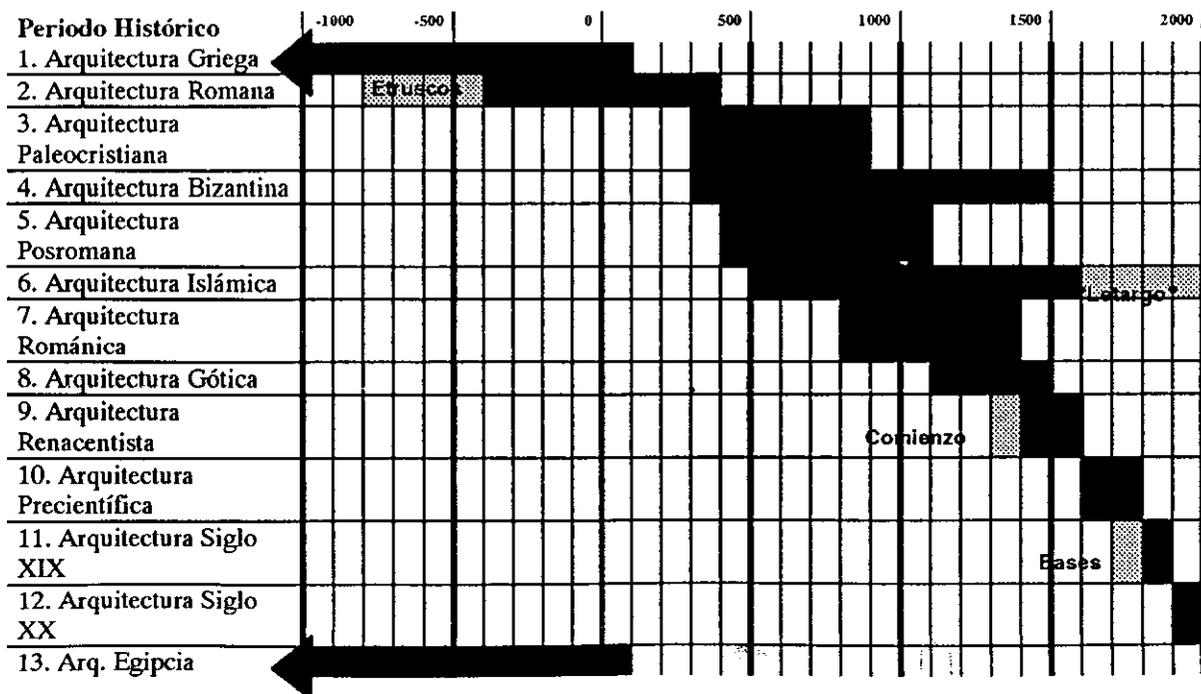
Variable Dependiente. La que se presenta como consecuencia de una variable independiente.

Variable Independiente. La que se presenta como causa y condición de la variable dependiente.

Apéndices

I. Cronograma y Fichas Analíticas de la Evolución Histórica de los Materiales y Sistemas Constructivos Comunes en la Arquitectura

Cronograma y Fichas Analíticas



Periodo.	Arquitectura Egipcia.
Subperiodos.	Imperio Antiguo, Reino Medio, Reino Nuevo, Periodo Ptoloméo, Periodo Romano.
Duración.	Circa 3200 A.C. a 100 D.C.
Región.	Riberas del Río Nilo, Norte de África.
Materiales Representativos.	Madera de Acacia y Cedro, Adobe, Arcilla, Piedra. Hierro escaso de origen Meteorico. Estaño y Bronce. Alabastro, Piedra Caliza, Arenisca. Granito Gris, Granito Rojo, Cuarzita y Basalto. Dolerita.
Procedimientos Constructivos Representativos.	Construcción de Vigas de Madera y de Granito. Construcción con Ladrillos de Adobe o Arcilla, Aplanados de arcilla, Corte y labrado de Sillares de Piedra.
Elementos Característicos.	Columnas, Pilonos, Arquitrabes, Puertas, Ventanas, Dinteles, Contrafuertes, Escalinatas.
Espacios Característicos.	Galerías, Corredores, Pasillos, Salas Hipóstilas, Salones, Columnatas, Cámaras, Pórticos, Capillas falsas, Altar, Pabellones.
Géneros Característicos.	Fortalezas, Obeliscos, Viviendas Particulares, Templos, Mortuaria (Pirámides y Mastabas). Palacios, Escultórica, Monumental.
Edificios Representativos.	Pirámides de Keops, Kefren y Micerinos; La Gran esfinge de Kefren; La Tumba de los Reyes en Tebas; La Mastaba de Aha en Sakhara; El Templo de Khons en Karnak; El Gran Templo de Ammon en Karnak; El Gran Templo de Abu Simbel; el Gran Templo de Ammon en Luxor.
Legado	Creación de las columnas como elemento de apoyo en salas hipóstilas, y el trabajo a escala monumental del labrado de piedra en forma de sillares y esculturas.
Arquitectos Representativos.	Faraones y Príncipes Arquitectos.

Periodo.	Arquitectura Griega
Duración.	Circa 3000 a 30 A.C.
Región.	Península Helénica, y Mediterráneo oriental.
Materiales Representativos.	Mármol blanco, sillares de piedra, madera, estucos.
Procedimientos Constructivos Representativos.	Talla exacta de sillares. Prefabricación de secciones de fustes en columnas. Aparejos ciclópeos, poligonales, rectangulares. Recubrimientos con estucos de mármol. Tejas con juntas diseñadas para evitar el paso de agua. Correcciones geométricas y ópticas en el trazo de edificios. Grapas metálicas entre sillares.
Elementos Característicos.	Columna, Cubierta de madera, arquitrabe, friso, cornisa, tímpano, tejas, dinteles de piedra inclinados.
Espacios Característicos.	Stoa, Posticum, Naos y Pronaos. Ambulatorio con peristilo.
Géneros Característicos.	Religioso, deportivo, teatral, palaciego, y Mausoleos.
Edificios Representativos.	El Partenón, el Templo de Poseidón, el Templo de Artemisa en Efeso, el Erechtheion en Atenas. El Estadio de Atenas. El Teatro de Epidauró. El Palacio del Rey Minos en Knosos, Creta. El tesoro de Atreo en Micenas. El Tesoro de Atreo. El Bouleuterion de Olimpia.
Legado	Formas arquitectónicas (órdenes) que perduraron por más de 2500 años.
Arquitectos Representativos.	Ictinio, Calícrates, Fidias.

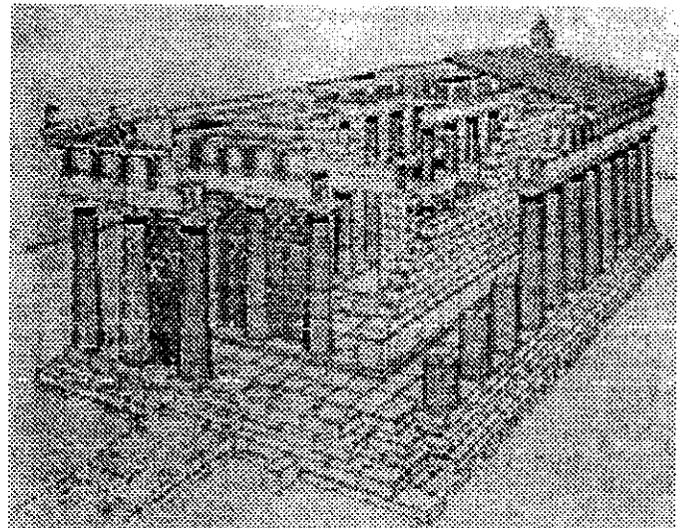


Ilustración 1. Detalle Constructivo del Templo de Aphaia en Aegina, edificado alrededor del año 450 A.C., donde se muestra el acomodo de la cubierta de madera sobre la estructura de piedra (Reposando sobre la Arquitrabe). Es una armadura primitiva.

Periodo.	Arquitectura Romana
Duración.	Circa 300 A.C. a 365 D.C.
Región.	Europa, norte de África, Asia occidental.
Materiales Representativos.	Terracota, Ladrillo de Barro, Toba, arena, grava, y mármol travertino, de carrara y de luna. Concreto, argamasas y morteros realizados con <i>Pulvis Puteolani</i> .
Procedimientos Constructivos Representativos.	<i>Opus caementicium, emplectum, incertum, mixtum, spicatum, reticulatum, y testaceum.</i>
Elementos Característicos.	Columna, Bóvedas de Cañón corrido, Bóvedas de Semidomo, Bóvedas de Crucero, Domos, Arcos de ladrillo, Arcos de descarga, casetones.
Espacios Característicos.	Cella, ambulatorio con peristilo, tribunas, foros, pórticos. Tepidarium, calidarium, frigidarium, apodyteria, unctuaria.
Géneros Característicos.	Coliseos o Anfiteatros, Templos, Termas, Basílicas, Arcos triunfales, Foros, Capitolio, Vías, edificios públicos, Teatros, Circos, Mausoleos, Palacios, pilares de victoria, acueductos, Villas, puentes, fuentes.
Edificios Representativos.	El Foro Romano, El Foro de Trajano en Roma, El Panteón de Agripa en Roma, Basílica de Trajano en Roma, Terma de Diocesano en Roma, el Coliseo Romano, El Odión de Herodes en Atenas, el Circus Máximus en Roma, el Mausoleo de Adriano en Roma.
Legado	Utilización de los materiales regionales, invención y adaptación de múltiples sistemas constructivos que permanecen vigentes hasta nuestros días (e.g. ladrillo y concreto).
Arquitectos Representativos.	Agripa, Apolidoro de Damasco, Vitrubio.

Periodo.	Arquitectura Paleocristiana
Duración.	Circa 313 a 800 D.C.
Región.	Península Itálica y Helénica, Turquía, Siria, Asia menor, norte de África, Egipto.
Materiales Representativos.	Material de Demolición Romana, Materiales de la Región, piedra, madera, ladrillo, aplanados, mosaico coloreado vitrificado, Vitrales de mosaico traslucido de colores.
Procedimientos Constructivos Representativos.	Aprovechamiento de los Sistemas Constructivos Romanos, principalmente el Opus Mixtum. Desarrollo de Muros delgados que sólo reciben cargas verticales. Desarrollo de techumbres a dos y una aguas con armaduras de madera. Semidomos y Bóvedas de Cañón corrido funcionando como falso plafón, bajo techumbre de madera.
Elementos Característicos.	Columna, Cubierta de madera a dos aguas y una agua, semidomo, bóveda de cañón corrido, arco, cimborrio, arcadas.
Espacios Característicos.	Abside, bema, altar, atrio, 3 a 5 naves paralelas, una de ellas principal, nártex, claustros.
Géneros Característicos.	Religioso, de tipo Basílica, Bautisterio, monasterio, capilla e Iglesia.
Edificios Representativos.	Iglesia Basilical de San Pedro en Roma, San Paolo Fuori le Mura en Roma, Santa Sabina en Roma, San Apolinar en Classe, Iglesia del Santo Sepulcro en Jerusalem, Iglesia de la Natividad en Belén, el Monasterio de Santa Catarina en el Monte Sinaí.
Legado	Valoración de la Volumetría exterior, Superficies limpias y sencillas con aplanados. No hay un claro legado constructivo, sólo formal (sin embargo ver comentarios).
Arquitectos Representativos.	Artesanos paleocristianos y bizantinos.

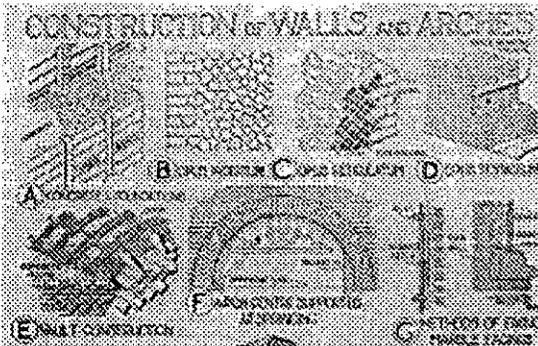


Ilustración 2. Se muestran algunos ejemplos de los aparejos y soluciones constructivas para los muros que los romanos inventaron con la ayuda del polvo puzolánico (y el Concreto): En cimientos ciclópeos (A), el Opus Incertum (B), el Opus Reticulatum (C), el Opus Testaceum (D), la Bóveda de Cañón (E), el Arco de Medio Punto (F), y el Aplanado de Mármol como recubrimiento (G).

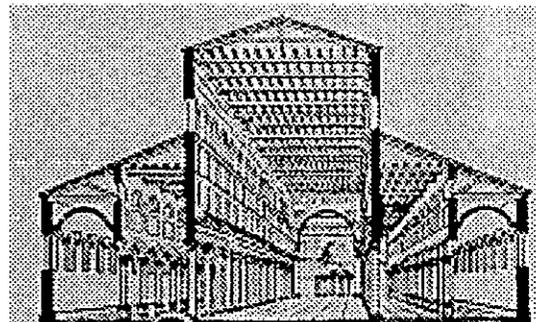


Ilustración 3. En el corte de la Basílica de San Pedro, se puede apreciar los falsos plafones generados, primero por las bóvedas en los deambulatorios, y segundo en la nave principal con las viguerías bajo las cubiertas de tejas y madera. Es notable, en la ilustración, la ligereza de espesores en los muros paleocristianos comparados con los realizados en el Periodo Romano.

Periodo.	Arquitectura Bizantina
Duración.	Circa 330 a 1453 D.C.
Región.	Grecia, Serbia, Rusia, Asia menor, norte de África, Venecia, Ravena, Périgueux, Aix la Chapelle. Centro: Estambul (Constantinopla o Bizancio).
Materiales Representativos.	Predominancia del ladrillo sobre los sillares de piedra, con gruesas juntas de mortero, Mármol, madera, estucos.
Procedimientos Constructivos Representativos.	Aparejos ciclópeos, rectangulares, con predominio del Opus Mixtum, sillares de protección en las esquinas de los muros. Presencia en menor grado del Opus spicatum y reticulatum. Recubrimientos con estucos y emplacados de mármol. Construcción de bóvedas y cúpulas sin cimbra. Uso de anforillas conectadas en semidomos.
Elementos Característicos.	Columna monolíticas de diversos tamaños, Exedras, Doble o triple ventana arqueada con columna al centro (triforio), Cubierta de madera, Semidomo, Cúpula lobulada, trompas, pechinas, cúpulas de arista, bóvedas vaídas, óculos, arcos de descarga.
Espacios Característicos.	Nártex externo, Nártex interno, Bema, Minaretos, Atrios, porches, bautisterios, deambulatorios.
Géneros Característicos.	Religioso (iglesias y monasterios), deportivo (Hipódromos).
Edificios Representativos.	Santa Sofía en Constantinopla, Santa Sofía en Salónica, Santa Irene de Constantinopla, San Marcos en Venecia, Iglesia de los Apóstoles en Grecia.
Legado	La construcción de domos y bóvedas sin cimbra. Creación de trompas y pechinas para aumentar claros de domos. Planta en cruz cuadrada y circular.
Arquitectos Representativos.	Artesanos bizantinos.

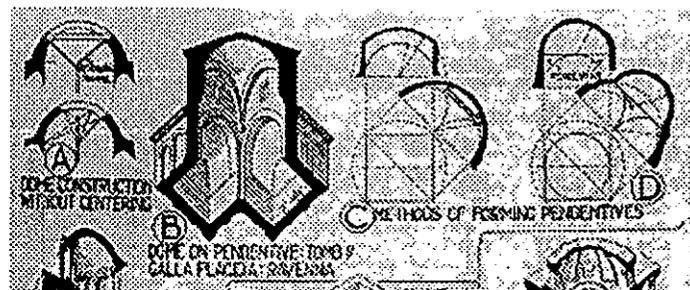


Ilustración 4. Trazo y desarrollo de la cúpula apedchinada característica del Periodo Bizantino. Se puede además apreciar el grosor de las cúpulas y muros emparentados a los procesos romanos.

Periodo.	Arquitectura Posromana de Occidente (España).
Subperiodos.	Visigodo, Mozárabe, Prerománico Asturiano, Protorrománico, Mudejar.
Duración.	Circa 400 a 1100 D.C.
Región.	España, Portugal, Francia, Gibraltar, Tierra Santa.
Materiales Representativos.	Sillares de Granito, Piedra Caliza, Piedra Arenisca, Mármoles. Piedra volcánica para rellenos y agregados, ladrillo, vigas de madera, mortero, dovelas romanas de demolición.
Procedimientos Constructivos Representativos.	Talla exacta de sillares robustos y de textura burda. Opus Mixtum, Opus Emplectum, Opus Espicalum y Astracum. Bóvedas de Cañón de ladrillo, Arcos de Piedra con Clave, columnas monolíticas de distintos tamaños, Bóvedas rellenas de argamasa aligeradas con cerámica, mosaicos geométricos a la manera romana, revocados de mortero decorado con pinturas florales.
Elementos Característicos.	Columna monolítica, Cubierta de madera, Arco Mozárabe, Arco de arista, Arco de Cañón Corrido, Cimacio, Cimborrio, Salmeres, Artesonados de madera, Trompas, tejas, jambas y dinteles monolíticos, contrafuertes, Cubiertas de madera a dos aguas, Cúpula lobulada, Modillones, Iconostasis. Arcos y rosetones con celosía, Triforios, verdugadas de ladrillo, apertura protorrománica, canecillos de esquina.
Espacios Característicos.	Refectorios, Claustros, Cella, Abadía, y Naves en forma de cruz, Torres fortificadas.
Géneros Característicos.	Militares: Fuertes para peregrinos, Fortificaciones costeras. Religioso: Criptas, capillas, Claustros, iglesias, monasterios, todo de tamaño mínimo.
Edificios Representativos.	Catedral de Santiago de Compostela, Santa María de Naranco, San Miguel de Escalada, San Juan de Baños de Cerrato, San Julián de los Prados, Monasterio de Poblet en Cataluña, San Miguel de Lillo, Santa Cristina de Lena, Château de Mer en Sidón.
Legado	Minimalismo constructivo y espacial, rusticidad, selección de cales, elección de terrenos idóneos, dimensionamiento empírico de muros y bóvedas.
Arquitectos Representativos.	Maestro Mateo, Alba de Tormés, Sahagún, con lombardos o caementarios.



Ilustración 5. Iconostasis del interior de San Miguel de Escalada, donde se aprecia el espacio compartimentado, cuántico, con arcadas y columnas de formas y texturas sencillas: Invariantes Castizos de nuestra Arquitectura Mexicana.

Periodo.	Arquitectura Islámica
Duración.	Circa 800 D.C. hasta nuestros días. (El Autor menciona que termina en el Siglo XVII, entrando en "letargo" hasta nuestros días).
Región.	Norte y Este de África, Sahara, Asia y Asia Menor, Filipinas e Indonesia.
Materiales Representativos.	Materiales disponibles de cada región, predominando tapial, adobe, ladrillo de arcilla, sillares de piedra, mármol comercializado, morteros, argamasas y estucos, cerámica, yeso, vidrio, metales, madera, azulejos manises.
Procedimientos Constructivos Representativos.	Talla exacta de sillares. Revestimiento de yeso (Escayola) recubierto con estucos de mármol. Taraceas de Mosaico y Azulejos. Opus Mixtum y Emplectum. Tejado recubierto de placas de zinc.
Elementos Característicos.	Quibla, Mirhab, mimbél, Alminar o Minarete, Columnas, Armaduras de madera, arquerías, celosía, dobles arcuaciones. Arcos mozárabes, imbricados, tumidos y flamígeros, cúpulas lobuladas, trompas múltiples.
Espacios Característicos.	Diwan, Harem, Selamlík, Madarasa, Caravanserai, Chattri, Bab, Sahn.
Géneros Característicos.	Religioso: Mezquitas o Masjid, Madarasa. Palacio: Saray o Palacio. Mausoleos. Fortalezas. Baños.
Edificios Representativos.	La Mezquita de Córdoba, la Mezquita de la Roca (Kubbet es-Sakhra) en Jerusalem, la Gran Mezquita de Damasco, la Madarasa del Sultán Qala'un en el Cairo, la Alhambra en Granada, la Mezquita de Suleymaniyé en Estambul, el Taj-Majal en Agra.
Legado	Permanencia en el mundo islámico, utilización de técnicas constructivas regionales, integración decorativa a bóvedas, cúpulas y celosías. Plomo y Zinc de recubrimiento de techumbres.
Arquitectos Representativos.	Miriyad ibn Abihi (700), Koca Sinan (1544), Mehmed (1609), Hassan Fahti (1980).

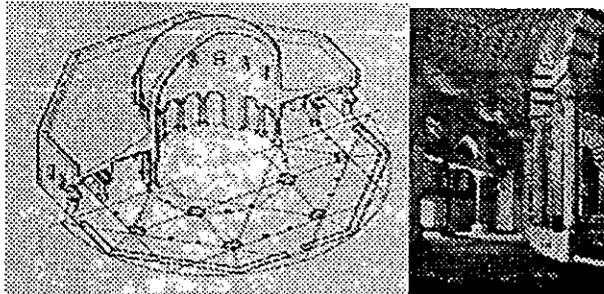


Ilustración 6. Isométrico y fotografía interior de la Gran Mezquita de la Roca en Damasco, Siria, donde se aprecian las columnas, arcadas, y domo característicos de la Arquitectura Islámica.

Periodo.	Arquitectura Románica
Duración.	Circa 800 a 1400 D.C.
Región.	Italia, Sicilia, Francia, Europa Central, España, Portugal, Tierra Santa, Gran Bretaña, Escandinavia.
Materiales Representativos.	Materiales de cada Región, sillares de piedra y cantera, Piedra laja, madera, deficientes morteros de cal.
Procedimientos Constructivos Representativos.	Talla exacta de sillares. Utilización de Mampuestos pequeños. Opus Emplectum románico: Muros de piedra labra rellenos de argamasa ciclópea o mampostería. Dimensionamiento con medidas antropomórficas. Claves de dos piezas.
Elementos Característicos.	Bóvedas romanas de crucería, Bóvedas con losas y nervaduras transversas, longitudinales y diagonales, Bóveda ojal cuatripartita. Arco Punteado. Muros Arcados de medio punto, con apoyo de pilastras. Ábaco sobre Capiteles. Columna cilíndricas de proporción masiva. Arco por roscas en Accesos. Arcos Fajones. Columnas insertas, Doble Columna Recibiendo Arcadas. Cubierta y Sobrecubierta de madera con tejas. Cimbórios, Ábsides, absidiolos, claristorio, contrafuertes.
Espacios Característicos.	Campanille, Bautisterio, Refectorio, Cella, Sacristía, Transepto, Torre, Coro, Nave, Santuario, Ambulatorios, Claustro, púlpito, cripta, atrio, triforio.
Géneros Característicos.	Militares: Fuertes para peregrinos, Fortificaciones costeras. Religioso: Criptas, capillas, Claustros, iglesias, monasterios, Catedrales.
Edificios Representativos.	La Catedral de Pisa, la Catedral de Monreale, San Sernin en Toulouse, la Catedral de Aix-la-Chapelle, la Iglesia de los Apóstoles en Colonia, San Vicente en Ávila, la Torre de Londres, Claustro de Sant Cugat del Vallés, Santa Ana en Jerusalem.
Legado	Búsqueda de la deliberada articulación de la estructura, en la que cada elemento jugó un papel diseñado para alcanzar el equilibrio, conducta que llevaría al desarrollo del Periodo Gótico.
Arquitectos Representativos.	Diote Salvi, Raymod de Burgundy.

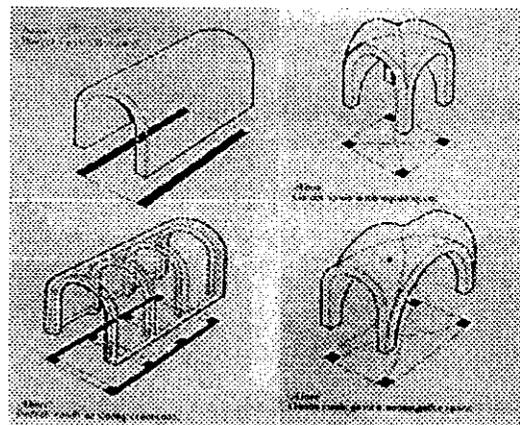


Ilustración 7. Desarrollo y Evolución de la Bóveda de Cañón corrido en el Periodo Románico. Nótese el uso de arcos transversales a la bóveda, convertidas en nervaduras y contrafuertes.

Periodo.	Arquitectura Gótica
Duración.	Circa 1100 a 1500 D.C.
Región.	Francia, Gran Bretaña, Países Bajos, Europa Central, Italia.
Materiales Representativos.	Sillares de piedra, granito y cantera, Piedra Volcánica, Ladrillo rojo de Terracota, Arcilla, madera, Mármol Blanco y Coloreado lustroso, estucos de yeso.
Procedimientos Constructivos Representativos.	More Góticum, Talla exacta de sillares, generado de trazos geométricos detallados. Uso de Gálibos para recortes de perfiles.
Elementos Característicos.	Bóvedas Ojivales Góticas lisas y decoradas, Bóvedas sextapartitas. Nervaduras: Cadentes y terceletes. Columna inserta esbelta. Cubierta de madera con armaduras de diseños múltiples. Arco ojival y formero, Botarel, Plementería, Rosetón, Vitral, Agujas y pináculos, Triforio, gárgolas, contrafuertes escalonados.
Espacios Característicos.	Altar, Presbiterio, Linterna, Coro, Claustro, Capilla, Porche, Sacristía, Refectorio, Ambulatorios, Púlpitos, Celdas, Nave, Girola, Torre, Transepto, Cripta, Abadía, Patio, Salones.
Géneros Característicos.	Religioso: Catedrales, Iglesias, Abadías, Castillos y Fortificaciones. Viviendas urbanas y rurales. Colegios, Escuelas y Hospicios. Casas de Campo, Casas Urbanas, Hospitales, Villas u Hoteles, Palacios de Justicia.
Edificios Representativos.	La Catedral de Notre-Dame en París, la Catedral de Burgos, la Catedral de Reims, la Ciudad de Mont Saint Michel, Château d'Amboise, Hôtel de Ville en Burgos, Palais de Justice en Rouen, Capilla King's College en Cambridge, Iglesia de Canterbury, la Catedral de Exeter, la Abadía de Westminster, el Palacio de Hampton Court, la Universidad de Oxford, la Universidad de Cambridge, el Colegio Winchester, la Catedral de Milán, el Palacio Doge de San Marcos en Venecia.
Legado	Logro de elasticidad, estabilidad, ligereza y altura en todas las construcciones, aligerando paredes y elementos portantes. Uso de la geometría tridimensional para el trazado de edificios.
Arquitectos Representativos.	Villard de Honnecourt, Pierre de Corbie, Robert de Luzarches, Thomas y Renault de Cormont, William of Sens, Henry Redman, Sir Richard Weston.

Periodo.	Arquitectura Renacentista
Duración.	Circa 1400 a 1600 D.C.
Región.	Italia, Francia, Alemania, Europa Central, Bélgica, Holanda, España, Portugal, Gran Bretaña, Escandinavia, Rusia.
Materiales Representativos.	Cantera café (Pietra Forte) y gris azulado (Pietra Serena). Mármol blanco de Carrara, verde de Liguria, gris verdoso de Portugal, coloreado de Toscana y Amarillo de Siena. Ladrillo y Terracota de Milán. Madera. Granito. Estuco.
Procedimientos Constructivos Representativos.	Aplacado de mármol. Albañilería predominante sobre sillería. Aplicación de criterios de proporcionalidad estructural empíricos (doble claro, doble sección). Protección de cúpula pintada con cúpula externa. Mampuestos recibidos con mortero de cal. Muros no aparentes preparados para recibir.
Elementos Característicos.	Arco Adintelado, Balaustradas, Cimbriorio, Antemas, Almohadillado, Cornicione, Bóvedas, Lunetos, Cúpula Doble, Linterna, Columna, Frontones rectos y circulares en ventanas y puertas. Cubierta de madera, tejas, Diátomos, Nichos.
Espacios Característicos.	Campanille, Capilla, Nave, Patio o Cortijo, Altar, Loggias, Claustro, Salones, Corredores, Vestíbulo, Galerías.
Géneros Característicos.	Religioso, palaciego, Mausoleos, Militar, Residencial para burgueses y comerciantes, edificios públicos, Puentes, Escuelas, Librerías.
Edificios Representativos.	El Domo de la Catedral de Florencia, el Palacio Riccardi en Florencia, Santa María Novella en Florencia, el Palacio Pitti en Florencia, el Palacio Strozzi, el Teatro Farnese en Parma, San Pietro in Montorio Roma, San Pedro en Roma, Librería de San Marcos en Venecia, la Capilla Medici en Florencia, el Palacio Rucellai, Château de Chambord.
Legado	Los soportes se reducen a ser el esqueleto que será recubierto por los acabados. Búsqueda de proporcionalidad, ritmo y escala en la geometría de planta y alzados. Desarrollo de la perspectiva.
Arquitectos Representativos.	Filippo Brunelleschi, Miguel Ángel Buonarroti, Rafael Sanzio, Giuliano y Antonio Sangallo, León Battista Alberti, Donato Bramante, Giacomo Barozzi da Vignola, Andrea Palladio, Philibert de l'Orme, Sebastián Serlio.

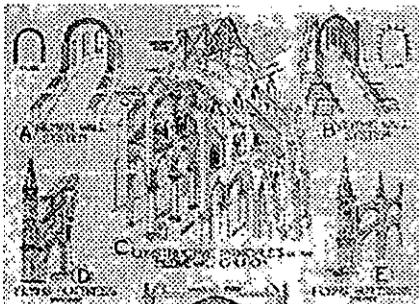


Ilustración 8. Nótese en los extremos superiores izquierdo y derecho de las imágenes, la diferencia formal y estructural de los sistemas de muro romanos y góticos. La aparición de Contrafuertes escalonados y la variación de la Bóveda de Cañón corrido por la Ojival, se hace evidente. Nótese también el desarrollo de la doble cubierta de la nave principal.

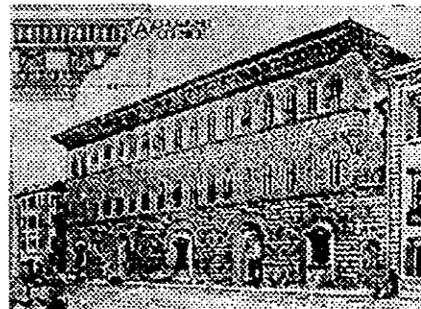


Ilustración 9. El Palacio de Medici Riccardi en Florencia, donde se aprecia a detalle el Cornicione, las ventanas de planta baja con frontones y algunas balaustradas, y el manejo en fachada de hasta tres tipos distintos de aparejo almohadillado, la proporción del Cornicione es sumamente cuidada en la geometría de la fachada perspectivada.

Periodo.	Arquitectura Precientífica
Subperiodos.	Manierismo, Barroco, Churrigüesco, Herreroiano, Plateresco, Rococó.
Duración.	Circa 1600 a 1800 D.C.
Región.	Italia, Francia, Alemania, Europa Central, Bélgica, Holanda, España, Portugal, Gran Bretaña, Escandinavia, Rusia.
Materiales Representativos.	Cantera café (Pietra Forte) y gris azulado (Pietra Serena). Mármol blanco de Carrara, verde de Liguria, gris verdoso de Portugal, coloreado de Toscana y Amarillo de Siena. Ladrillo y Terracota de Milán. Madera. Granito. Estuco.
Procedimientos Constructivos Representativos.	Aplacado de mármol. Albañilería predominante sobre sillería. Protección de cúpula pintada con cúpula externa. Mampuestos recibidos con mortero de cal. Muros no aparentes preparados para recibir. Escultura en Yeso y Mármol.
Elementos Característicos.	Ornamentación excesiva, Arco Adintelado, Balastradas, Cimborio, Antenas, Almohadillado, Cornicione, Bóvedas, Lunetos, Cúpula Doble, Linterna, Columnas con capiteles y fustes con nuevas formas, Frontones rectos, cortados, partidos y circulares en ventanas y puertas. Cubierta de madera, tejas, Diátomos, Nichos. Columnas insertas, Mansardas.
Espacios Característicos.	Curvos: Campanille, Capilla, Nave, Patio o Cortijo, Altar, Loggias, Claustro, Salones, Corredores. Vestíbulo, Galerías.
Géneros Característicos.	Religioso, Palaciego, Mausoleos, Militar, Residencial para burgueses y comerciantes, edificios públicos, Puentes, Escuelas, Librerías.
Edificios Representativos.	El Escorial, Catedral del Santo Sudario (San Sindone) en Turín, El Palacio Barberini en Roma, Columnata y Plaza de San Pedro en Roma, San Carlo alle Quattro Fontane en Roma, San Andrea del Quirinale en Roma, Santa Maria della Salute en Venecia, la Iglesia de Madonna di San Luca en Bologna, el Palacio de Fontainebleau, el Palacio del Louvre en París, el Palacio de Versailles.
Legado	Nace la Estática y la Resistencia de Materiales con Galileo Galilei, Robert Hook define el Concepto de elasticidad, el Momento de Inercia es descrito por Euler, Coulomb escribe sobre los esfuerzos.
Arquitectos Representativos.	Juan de la Herrera, Gianlorenzo Bernini, Francesco Borromini, Guarino Guarini, Carlo Maderna, Baldassare Longhena. Carlo Dotti, Pietro da Cortona, Gilles Le Breton, Pierre Lescot, Le Vau, Francois Mansart.



Ilustración 10. Santa Agnese en Roma y Santa María della Pace en Roma. Ejemplos típicos de la aglomeración de elementos constructivos dentro de formas curvas, características del Barroco.

Periodo.	Arquitectura del S. XIX.
Subperiodos.	Eclecticismo, Neoclásico, Art Decó.
Duración.	Circa 1800 a 1900 D.C.
Región.	Gran Bretaña, Europa, América, Australia y Nueva Zelanda, Imperio Ruso.
Materiales Representativos.	Cemento Portland, Hierro Colado, Concreto Armado, Mármoles, Mampuestos de Ladrillo, Sillares de Piedra, Madera, Morteros, Acero.
Procedimientos Constructivos Representativos.	Colado de Columnas de Hierro dentro de Recubrimientos de Piedra, Anclajes de tensores y articulaciones metálicas dentro de mampostería. Diseño de estructura y cimentaciones de acuerdo a criterios matemáticos. Talla geométrica exacta de sillares. Prefabricación de vigas, columnas y capiteles de hierro. Regreso a las formas Clásicas.
Elementos Característicos.	Balastradas de piedra y metal. Arco Mixto, Columna de Hierro, Cerchas de Hierro, Cubierta de madera y Hierro, Cristal en Muros y Cubiertas, Perfiles Metálicos y Remaches, Forjados Metálicos, Ménsulas de Hierro Colado.
Espacios Característicos.	Todo tipo de Espacios conocidos.
Géneros Característicos.	Todos los géneros.
Edificios Representativos.	El Puente Suspendido Clifton en Bristol, el Palacio Westminster en Londres, el Conservatorio de Carlton House en Londres, The Palm House del Royal Botanic Gardens en Kew, el Cristal Palace en Londres, The University Museum en Oxford, Estación Ferroviaria de Saint Pancras en Londres, Rue de Rivoli en París, Casa Milà en Barcelona, el Hôtel Tassel en Bruselas, The National Library en París, The Opera House en París, Estación del Metro Place de la Bastille en París.
Legado	Las vigas pasan de ser un elemento apuntalador de muros a uno estructural soportado por los mismos y las columnas. Manejo de secciones exactas mediante el cálculo de fuerzas. Descubrimiento del Concreto Armado.
Arquitectos Representativos.	Isambard Kingdom Brunel, Sir Charles Barry, Thomas Hopper, Decimus Burton, Richard Turner, Sir Joseph Paxton, Benjamin Woodward, W. H. Barlow, P. F. L. Fontaine, Antonio Gaudí, Victor Horta, Henri Labrouste, J. L. C. Garnier, H. Guimard.

II. Sobre la Necesidad de Analizar los Requisitos de los Edificios: La Fábrica

Análisis Crítico del Primer Capítulo del Libro Historia de la Construcción Arquitectónica de Antonio Castro Villalba.

Por Ernesto Ocampo Ruiz, 1997.

El concepto de "Fábrica", con el que titula al capítulo, debe ser entendido por el lector antes de emprender la lectura completa de éste mismo, ya que es un término ajeno a nuestro vocabulario técnico constructivo mexicano. Una *Fábrica*, es en el sentido más estricto, el término con el que se define a cualquier construcción o parte de ella, hecha con algún material constructivo. Una fábrica es una obra de albañilería, entendiendo por ésta al arte de construir edificios u obras a base de materiales predominantemente pétreos. Por extensión, el autor considera y aplica el término de "fábrica" a cualquier *edificio*. Por lo tanto el título del capítulo debe interpretarse como "Requisitos de los edificios" en lugar de "Requisitos de las fábricas".

Para Castro Villalba, el sistema constructivo elegido en cierto momento, no debe ser materia de especulaciones o encasillamientos pertenecientes a cualquier estilo o época. Es importante entender el concepto de que si no se conocen profundamente los criterios y razones que el contexto del momento determinó en la aparición de una técnica o procedimiento constructivo, no se podrán definir el origen y la evolución de los estilos y formas.

Sin embargo, y a pesar de establecer que para el análisis profundo de la historia de la construcción se requiere de un determinado proceso metodológico, en donde se delimiten en principio los criterios y requisitos básicos que deben tomarse en cuenta en la elección de materiales y sistemas constructivos, Castro Villalba desecha *a priori* todo análisis profundo sobre cualquier elemento que no se utilice

estructuralmente, porque piensa que para diseñarlos sólo es necesario "cierta capacidad de observación y el conocimiento práctico del comportamiento de los materiales utilizados", con lo cual no estoy de acuerdo.

Así como imprime importancia y define una serie de "condicionamientos de validez universal" atemporales y el requerimiento de "conocimientos de orden más abstracto" a la construcción de sistemas estructurales, se debe de proceder de la misma forma en el análisis de los sistemas de acabados y recubrimientos, ya que los materiales que los conforman, también deben cumplir con patrones universales de durabilidad, resistencia, persistencia y apariencia, para lo cual se puede utilizar el mismo procedimiento metodológico.

Para el autor, es muy importante conocer por este medio, las intenciones reales que tuvieron los constructores de cada edificio, para poder establecer un análisis cronológico de la historia de la construcción, donde se analice críticamente "el balance entre las ambiciones del proyecto y las necesidades de ejecución, tal y como se manifiestan en la obra acabada". Esta afirmación la fundamenta en la estrecha interrelación que existe entre cada decisión de diseño tomada en un edificio. Para el autor, ninguna elección constructiva es casual y el resultado es condicionado enteramente por éstas. Las decisiones son tomadas en función de patrones o exigencias atemporales universales. Es muy importante la afirmación de que "De conceptos arquitectónicos distintos, dictados por

necesidades distintas, resultan en edificios distintos”, la cual define en sí misma la base del entendimiento de los estilos arquitectónicos.

El autor determina que en el análisis de un edificio, sin importar el material o procedimiento constructivo, existen dos tipos de “datos” que se deben conocer y manipular en el diseño de edificios: Unos son los de la *forma*, otros son los de las *técnicas de ejecución*.

La forma está delimitada tridimensionalmente, espacialmente, respondiendo a tres condiciones básicas:

1. **El fin causal.** En el que el edificio proyectado debe ser construible y la determinación de la forma del espacio está determinada por el uso o función que este tenga. Aquí, el “momento cultural” es fundamental en la identificación de la función.
2. **La estabilidad.** En la que el edificio depende de sus dimensiones, materiales, y la técnica constructiva para garantizar una “mínima estabilidad”.
3. **La Intención estética.** La expresión personal del constructor o de una época quedan plasmadas en las proporciones y texturas de las formas de un edificio.

En las técnicas de ejecución influyen fundamentalmente dos condiciones que se deben analizar:

1. **Condiciones generales.** Estabilidad provisional e inmediata durante el proceso constructivo, resistencia de lo construido a las cargas y esfuerzos que recibe de otros elementos, durabilidad ante agentes externos como el agua y los agentes químicos, y por último resistencia ante cargas e impactos accidentales.
2. **Condiciones Particulares.** Accesibilidad y disponibilidad de los materiales, uso adecuado del material para determinada función o técnica, sinceridad entre el material y su apariencia en el sistema constructivo, facilidad o comodidad de manipulación y construcción de acuerdo con los materiales y el momento histórico, las posibilidades expresivas y estéticas de los recursos utilizados en

la construcción de un edificio, y por último, la capacidad manual o técnica de los ejecutantes de la obra (albañiles).

El autor afirma que si bien, no son las condiciones anteriores las únicas en el análisis de un sistema constructivo en la historia, si son los criterios mínimos con los que se debe evaluar la historia de la construcción arquitectónica.

Creo en lo personal, que es un conjunto de condiciones sumamente global, que sólo permite un esbozo elemental en cuanto se intenta ver con ellos a la historia de la edificación. **El mismo autor señala la posibilidad de cierta subjetividad y mala interpretación presente en todos los momentos de elección de una técnica constructiva:**

“es evidente que en cualquier decisión, tanto de proyecto como ejecución...”primará, por sentido común inmediato, la constatación de la viabilidad en casos anteriores de soluciones parecidas, por remotas que sean las semejanzas”

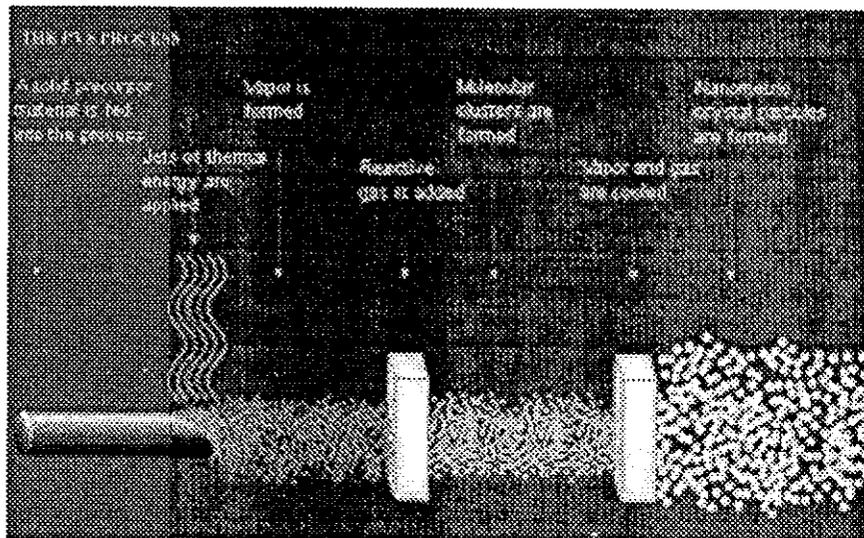
Una afirmación en la que estoy de acuerdo. **El constructor no debe extrapolar la decisión de un sistema o dejarlo al sentido común o su propia experiencia. Se necesita un método de evaluación.**

El autor urge al lector a acercarse a las pautas mencionadas para utilizarlas como herramientas básicas en el análisis de edificios antiguos.

El capítulo concluye que todo en la obra arquitectónica está influido por una buena decisión. Que **ninguna de ellas es casual**, y que *“a lo largo de la historia de los procesos constructivos encontraremos todos estos requisitos y condicionantes actuando en cada caso según una serie de factores concretos”*.

III. Síntesis Física de Vapor (PVS)

Physical Vapor Synthesis¹



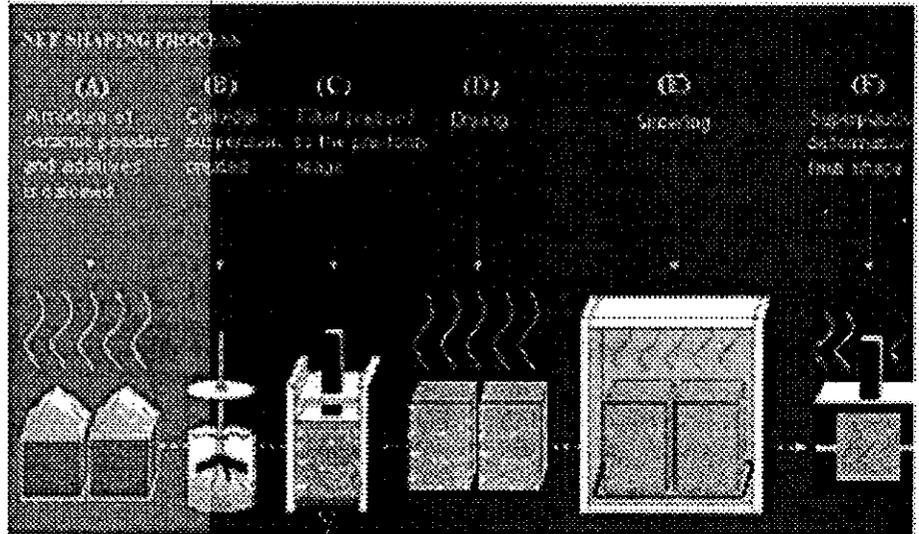
El proceso de Síntesis Física de Vapor (PVS) permite producir partículas nanocrystalinas. El proceso PVS utiliza un plasma para calentar un metal seleccionado, al cual llamaremos **Precursor**, en condiciones atmosféricas normales. Cuando la temperatura se eleva, los átomos del metal empiezan a hervir, produciendo un vapor. Esto es conocido como **evaporación de sólidos**. Se producen entonces colisiones normales de átomos dentro del vapor que es introducido, generando enfriamiento de los átomos metálicos, de tal forma que el vapor se condensa en racimos moleculares líquidos. Mientras que el enfriamiento continua, el congelamiento de estos racimos moleculares produce partículas sólidas de tamaño nanométrico. El gas inyectado transporta las partículas hacia un tanque de recolección. La presencia de oxígeno permite introducir átomos de oxígeno repartidos entre los átomos metálicos, formando óxidos metálicos nanocrystalinos. Un ejemplo de ello son el Óxido de Aluminio y el Bióxido de Titanio. El polvo resultante consiste en aglomeraciones débiles de partículas de forma esférica. La pureza de estos polvos depende de la pureza del material precursor. No se generan Cloruros o Sulfuros residuales sobre las superficies de las partículas como las que son producidas con otras técnicas de combustión. La naturaleza pura de estas superficies permite técnicas para poder diseñar bajo especificación los nuevos materiales utilizables en aplicaciones que requieren su dispersión en una gran variedad de fluidos. El proceso PVS fue desarrollado a partir del principio general de un proceso llamado **condensación de fase gaseosa**. Esta condensación es producida bajo altas condiciones de vacío, que generalmente limitan la producción de materiales nanocrystalinos a cantidades pequeñas que sólo pueden ser utilizadas para trabajos de investigación. Este proceso generalmente emplea una fuente resistiva de calor para generar un gas que es aplicado al material precursor. Enfriando este gas para causar la condensación y el congelamiento, permite formar partículas nanocrystalinas. Esto es logrado usando una superficie de recolección enfriada con nitrógeno líquido. Los materiales producidos por el proceso de condensación de fase gaseosa son similares en forma, pureza y tamaño que aquellos producidos por la Síntesis Física de Vapor.

La **Condensación de Fase Gaseosa** es practicada por muchos científicos e investigadores al rededor del mundo como medio para fabricar materiales para sus experimentos. El proceso de Síntesis Física de Vapor (PVS) es el único medio conocido que permite la producción comercial de grandes cantidades de nanomateriales.

¹ Información proporcionada por Nanophase Technologies Corporation.

IV. Moldeo Superplástico en Malla (SNSF)

Superplastic Net-Shape Forming²



Las Partes Cerámicas son tradicionalmente fabricadas por el proceso de sinterización de una muestra amorfa que posteriormente será maquilada para obtener el tamaño y la forma deseada. La maquilación de cerámicas es generalmente difícil debido a su extrema dureza. Aún buscando formas simples, el maquilado generalmente representa entre el 50% y 90% del costo total de la producción de una pieza cerámica.

Se ha desarrollado un proceso que puede fabricar piezas cerámicas el tamaño y forma deseados durante el proceso de sinterización, virtualmente eliminando la necesidad del maquilado. Con el nuevo proceso, se pueden lograr tolerancias de diseño del orden de ± 0.002 pulgadas (± 0.05 milímetros) mientras se sinteriza la muestra. Además de ofrecer el mejoramiento del costo de ciertas formas de piezas, el proceso llamado Moldeo en Malla permite la creación de granos cuyos tamaños es de 0.5 micras (500 nanómetros), constituyendo piezas totalmente densas.

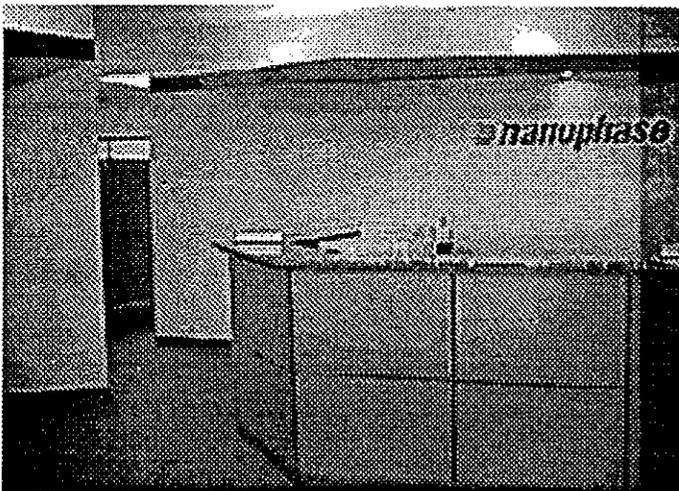
Este proceso explota el hecho de que los granos cerámicos equiaxiales nanométricos, como los del Óxido de Aluminio, pueden ser deformados superplásticamente. El Proceso implica las siguientes etapas:

- 1. Síntesis de Polvos.** El Óxido de Aluminio es producido utilizando el proceso de la *Síntesis Física de Vapor*. Para prevenir el engrosamiento de los granos durante el proceso subsecuente, materiales como la Ítrica y el Circona son añadidos a la Alúmina por medio de procesos químicos y calcinación (A). La Circona estabilizada resultante actúa para fijar las aristas de los granos de la Alúmina, previniendo el engrosamiento. Los granos gruesos requieren condiciones más extremas para lograr el deslizamiento superficial, mecanismo con el que la deformación superplástica tiene lugar.
- 2. Consolidación de la Preforma.** El polvo resultante debe consolidarse en una *Preforma* con dimensiones y masa basadas en las condiciones de deformación previstas y las tolerancias de diseño especificadas. Típicamente, el proceso coloidal (B) y el prensado (C) son utilizados para crear una *Preforma*. Dentro del fluido obtenido, el equilibrio de una cerrada compartimentación espacial intermedia de sus partículas es logrado por el proceso de estabilización electrostática. El fluido reduce la fricción entre las partículas y permite la consolidación sin porosidad a bajas temperaturas cuando la solución es inyectada dentro de un molde para ser comprimida. El fluido es expulsado del molde por la compresión, y el polvo compactado es entonces removido del molde. La *Preforma* es posteriormente secada (D) e inmediatamente después sinterizada (E).
- 3. Deformación Superplástica.** La *Preforma* es colocada en un molde y bajo condiciones de vacío es calentado hasta temperaturas de aproximadamente 1400°C y comprimida hasta entre 3000 a 5000 libras por pulgada cuadrada (160 a 270 bars) durante 10 o 20 minutos (F). Después de que se enfría, la pieza terminada es retirada del molde.

² Información proporcionada por Nanophase Technologies Corporation.

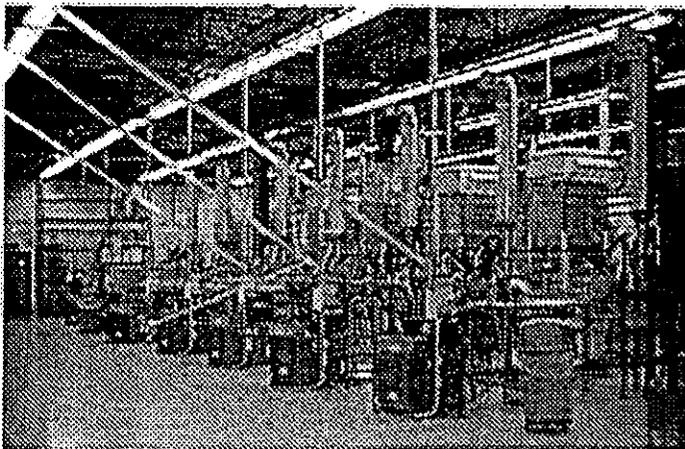
V. Instalaciones y Equipo de una Fábrica de Materiales Nanoestructurados

Nanophase Technologies Corporation³



Las instalaciones de la compañía Nanophase Technologies Corporation están ubicadas en la calle Commerce Street número 453, en Burr Ridge, estado de Illinois, en los Estados Unidos de Norteamérica. Fue fundada por Richard W. Siegel, Keith Crandall y Steven Lazarus en noviembre de 1989, como resultado del éxito logrado en los experimentos de Siegel en el Laboratorio Nacional de Argonne, lugar donde nació la Investigación de Materiales hace más de 52 años.

Para fabricar materiales nanoestructurados, se requiere de aparatos especiales para generar el Proceso de Síntesis Física de Vapor y el de Moldeo Superplástico en Malla. Los aparatos básicos son una Cámara de Síntesis y una Prensa de Solidificación.



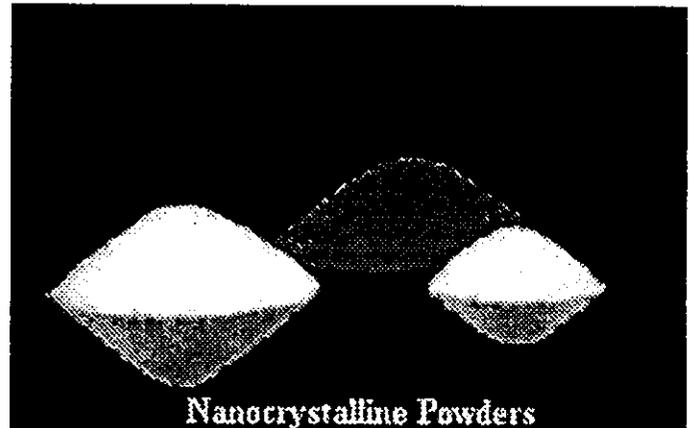
Nanophase Production Area

En el Área de Producción de Nanophase Technologies Corporation, se tienen ocho líneas de producción en serie, cada una con su propia Cámara de Síntesis y Prensa de Solidificación. La compañía es capaz de producir una cantidad de 100 toneladas métricas por año de materiales nanoestructurados. Los polvos de las cerámicas estructurales, en proceso de experimentación, son producidas a un ritmo de unos pocos gramos por hora a un costo de cientos a miles de dólares por gramo.

Existen otros productos ya comercializados cuyo costo oscila entre los \$ 50.00 y \$250.00 dólares el kilogramo.

³ Información Proporcionada por Nanophase Technologies Corporation.

VI. Lista de Productos Nanoestructurados



Nombre del Material [*]	Comercial	Nombre Común	Uso Particular
1 NanoTek® Oxide	Aluminum	Alúmina Nanoestructurada	Cerámica Estructural, Abrasivo General, Catalizador General, Electrónica.
2 NanoTek® Iron Oxide		Oxido de Hierro Nanoestructurado	Abrasivo General, Catalizador General, Electrónica, Magnetos, Pigmentos y Recubrimientos.
3 NanoTek® Cerium Oxide		Cérica Nanoestructurada	Abrasivo General, Electrónica.
4 NanoTek® Tin Oxide		Estaño Nanoestructurado	Abrasivo General.
5 NanoTek® Chromium Oxide		Oxido de Cromo Nanoestructurado	Abrasivo General.
6 NanoTek® Dioxide	Titanium	Titania Nanoestructurada	Cerámica Estructural, Catalizador General, Electrónica, Pigmentos y Recubrimientos.
7 NanoTek® Zinc Oxide		Oxido de Zinc Nanoestructurado	Catalizador General, Electrónica, Pigmentos y Recubrimientos.
8 NanoTek® Palladium		Paladio Nanoestructurado	Catalizador General, Electrónica.
9 NanoTek® Indium Tin Oxide		Oxido de Estaño Indico Nanoestructurado	Electrónica.
10 NanoTek® Silver		Plata Nanoestructurada	Electrónica.
11 NanoTek® Barium Titanate		Titanato de Bario Nanoestructurado	Electrónica.
12 NanoTek® Copper Oxide		Cobre Nanoestructurado	Cerámica Estructural, Electrónica.

Las cerámicas estructurales como el **Cobre, la Titania y la Alúmina Nanoestructuradas** pueden ser usadas para:

1. Cerámica traslúcida para bóvedas de arco.
2. Refuerzo para Materiales Compuestos del tipo Matriz de Metal.
3. Membranas porosas para filtración de gases.
4. Piezas resistentes moldeadas.
5. Pigmentos y Recubrimientos.

^{*} Productos Comercializados y Patentados de *Nanophase Technologies Corporation*.

VII. Propuesta para un Seminario de Área en la Maestría en Arquitectura, Campo de Conocimiento Tecnología

... "Toda nuestra ciencia, comparada con la realidad, es primitiva e infantil... y sin embargo es lo más preciado que tenemos"...

Albert Einstein, 1955.

1. Desarrollo del Programa del Seminario Propuesto.

1.1 Título del Seminario Propuesto: Introducción a la Investigación de Materiales y Sistemas Constructivos.

Se propone dentro de la Maestría de Arquitectura Campo de Conocimiento Tecnología, de la Facultad de Arquitectura, la necesidad de crear un seminario en el que el alumno profundice sus conocimientos en la línea de investigación constructiva. Este seminario busca llenar el vacío en el área de construcción que existe dentro de la currícula actual del programa vigente de la maestría. El título propuesto es Seminario de Área "Introducción a la Investigación de Materiales y Sistemas Constructivos".

1.2 Descripción.

Si se revisa la currícula actual de la Maestría en Arquitectura Campo de Conocimiento Tecnología, bajo la primicia que ésta se divide en cuatro líneas de investigación fundamentales (Construcción, Estructuras, Administración y Ecotecnologías), se observará que existe una clara desproporción en la temática de los seminarios impartidos.

De los aproximadamente 32 seminarios impartidos en total, para el área de construcción sólo existen tres materias impartidas: uno de Prefabricación, otro de Teoría de la Tecnología, y Acondicionamiento de Aire (dos seminarios).

Línea de Investigación	Cantidad de Seminarios y Talleres Impartidos	Orden de Importancia Actual de acuerdo a las Materias Impartidas
Ecotecnologías	6	2º
Estructuras	6	2º
Administración	7	1º
Construcción	4	3º
Común	9	No cuenta
Totales	32	

Tabla 1. En esta tabla se muestra la clara desproporción de los Seminarios y Talleres impartidos de la Maestría en Arquitectura Campo de Conocimiento Tecnología en función de las Líneas de Investigación.

Tratando de llenar este vacío, el seminario propuesto trata de aplicar los conocimientos desarrollados en el presente trabajo de investigación en la formación de investigadores y profesionales en la Industria de la Construcción. Mediante la discusión de los temas tratados en el seminario, el alumno deberá obtener un criterio general de

la repercusión que los nuevos materiales y sistemas constructivos tendrán en el futuro de la arquitectura.

En el desarrollo del seminario, el estudiante de posgrado conocerá las nuevas tendencias sobre materiales y sistemas constructivos evaluando su eficiencia y factibilidad. Al final del Seminario, el alumno adquirirá un criterio general de evaluación y selección de materiales y sistemas constructivos óptimos aplicables a la Industria de la Construcción.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General del Seminario.

El Objetivo General del Seminario consiste en que el alumno pueda valorar la importancia de la Investigación de Nuevos Materiales y Sistemas Constructivos en la Arquitectura.

1.3.2 Objetivos específicos del Seminario.

El primer objetivo específico es definir el significado de los términos edificio, sistema constructivo y material de construcción, tratando de establecer las propiedades o cualidades mínimas que deben tener los materiales y sistemas constructivos para valorarlos y decidir cuáles son eficientes o ideales.

El segundo objetivo específico es conocer los antecedentes históricos de los materiales de construcción comúnmente usados en la arquitectura, clasificándolos de acuerdo a su composición y objetivos, para poder describir futuros escenarios en la invención de nuevos materiales y el diseño de sistemas constructivos aplicables en la arquitectura, buscando describir su trascendencia.

El tercer objetivo específico es introducirse en la Investigación de Materiales como Ciencia Formal y conocer las diversas metodologías de diseño aplicables a sistemas constructivos, para valorar la participación actual del arquitecto en la investigación de materiales y sistemas constructivos.

1.4 Contenido o Temario del Seminario Propuesto.

1. Presentación del Programa de Actividades e Introducción al Curso.
2. Marco Conceptual y Retrospectiva de los Materiales y Sistemas Constructivos.
2.1 Definición de edificio, sistema constructivo y material de construcción.
2.2 Antecedentes históricos de los materiales de construcción comúnmente usados en la arquitectura actual.
2.3 Antecedentes, objetivos, métodos y técnicas de la Investigación de Materiales como Ciencia Formal.
2.4 Metodologías de diseño aplicables a sistemas constructivos.
3. Investigación de Materiales y Sistemas Constructivos.
3.1 Clasificación de los Materiales de Construcción y Sistemas Constructivos usados en la arquitectura actual.
3.2 Definición de propiedades mínimas fundamentales que deben cumplir los materiales de construcción para ser considerados en la arquitectura.
3.3 Definición de cualidades mínimas fundamentales que deben cumplir los sistemas constructivos para ser considerados en la arquitectura.
3.4 Sistemas de Evaluación de Materiales y Sistemas Constructivos.
4. Prospectiva de los Materiales y Sistemas Constructivos.
4.1 Escenario futuro de los materiales compuestos en la arquitectura.

4.2 Escenario futuro de la Ingeniería Molecular en la arquitectura.

4.3 Escenario futuro de la Ingeniería Biológica en la arquitectura.

4.4 Escenario futuro de la Ingeniería Genética en la arquitectura.

5. Conclusiones.

5.1 Sobre la Ciencia de la Investigación de Materiales y el Diseño de Sistemas Constructivos en la Arquitectura.

5.2 Sobre el papel del Arquitecto en la Investigación de Materiales y Sistemas Constructivos.

6. Evaluación Final.

1.5 Calendario de Actividades.

La cantidad de Subtemas presentados en el temario suman 14, los cuales fueron divididos así para cubrir un subtema por semana. Generalmente el semestre lectivo tiene de 16 a 18 semanas, por lo que el temario permite una holgura de dos a cuatro semanas que se utilizarán para la introducción al curso y las evaluaciones parciales y finales.

1.6 Mecánica de Trabajo.

Al principio del semestre se sortearán los temas expuestos por equipos, manteniendo la igualdad de condiciones. Todos los alumnos investigarán bibliográficamente o en campo la información necesaria cada semana de acuerdo al tema en turno. Paralelamente un alumno o equipo de alumnos preparará a profundidad el tema que toque. Durante la clase, el equipo preparado expondrá con medios audiovisuales el tema tratado durante la primera hora. En la segunda hora se inducirá a la discusión general para propiciar un intercambio de ideas y conclusiones.

Cada equipo deberá presentar un documento sobre el tema investigado y expuesto, mientras que los alumnos de forma individual deberán presentar un resumen con conclusiones personales sobre el tema discutido cada semana.

Al final del Semestre deberán entregar un trabajo de aplicación personal, tendiente a incluir toda la temática estudiada.

1.7 Herramientas de Investigación y/o Presentación.

Se pondrá énfasis en la calidad de la presentación audiovisual, la profundidad y amplitud de los conceptos investigados, la preparación personal para las etapas de discusión (participación en clase) y la necesidad de explorar los temas utilizando libros, revistas, entrevistas directas e Internet.

1.8 Evaluación Propuesta.

La calificación final se obtendrá de evaluar y promediar las presentaciones en equipo, las exposiciones personales en los procesos de discusión, los documentos parciales y finales entregados, los resúmenes semanales presentados, y la asistencia personal.