

“You know you've achieved perfection in design, not when you have nothing more to add, but when you have nothing more to take away” *Antoine de SaintExupery*

Áreas de interés

Aplicaciones ópticas y electrónicas de los materiales.

Instrumentación con láseres ultrarrápidos.

Materiales para aplicaciones en energía solar.

Predicción de propiedades de los materiales

Biomimética.

Métodos de la ingeniería aplicados a la ciencia.

Educación y Formación del individuo.

La ciencia es el estudio sistemático de cualquier cosa que puede ser examinado, probado y verificado. Su origen *Scire* tiene la notación de conocer y hoy se ha desarrollado para convertirse en la actividad humana con mayor influencia; define como entendemos el universo, nuestro planeta, nosotros y nuestro entorno.

La investigación es un proceso para obtener soluciones; La Investigación tiene dos representantes: La innovación, que es un salto cualitativo y el desarrollo, que son cambios graduales cuantitativos. Hoy día se navega en un ambiente académico que no ha resuelto el conflicto donde al conocimiento científico se le asigna un valor comercial o atributos subjetivos. En concreto, solo el conocimiento agregado a productos comercializables puede tener un valor económico.

La investigación es *exitosa* solo si existe desarrollo de productos. Para ello la organización que hace investigación debe estar cercana a la que hace desarrollo de productos. La posibilidad de aplicar el conocimiento (y existir) aumenta con la tradición de investigación explorativa de la institución.

El motor de la investigación es el conocimiento y la aplicación del conocimiento.

El esfuerzo de búsqueda del conocimiento en el laboratorio se centra en tres direcciones, la baja dimensionalidad, la fotónica y la biomimética

El propósito de señalar los puntos cardinales de las temáticas de investigación se puede lograr con la enumeración de islas de conocimiento, que reconocemos son limitadas para explicar el trabajo, pero útiles para estructurar el conocimiento. Así que se inicia con su enumeración y se concluye con un esfuerzo integrador.

En 1965, en los primeros días de la electrónica integrada, se le pidió a Gordon Moore posteriormente cofundador de Intel Corp. que presentara un reporte del futuro de la integración de los componentes semiconductores. En aquel tiempo su grupo de trabajo podía integrar 60 componentes y predijo que para 1975 se podrían integrar 60,000 componentes. Con ligeras modificaciones se ha mantenido la tendencia de duplicar el número de componentes cada año y medio (procesador Tukwila, Intel, mas de 2 mil millones de transistores en un chip y consume menos de 70 Watts; Diciembre de 2008). Con el tiempo la ley de Moore se ha aplicado a la densidad de las memorias magnéticas, a la densidad de transmisión en las redes de comunicación; en realidad se llama de esta manera a los desarrollos cuyo desempeño crecen exponencialmente.

El final en el crecimiento de la ley de Moore se ha predicho muchas veces y se ha rebasado. En los primeros años del desarrollo de la tecnología se decía que el espesor de las capas aislantes no podría ser menor a 100 nm (1 mm dividido 10,000 veces), ya que la capa no sería uniforme, el espesor hoy día esta cerca de 1 nm. Otro limite era la litografía que permite definir las estructuras y se decía que el límite sería 1,000 nm, Hoy día se trabaja con 65 nm y rápidamente se esta alcanzando 10 nm. Y nuevas oportunidades permiten ser optimistas del futuro, dispositivos que funcionan con electrones únicos, nanoestructuras de diversos materiales, moléculas orgánicas activas y dispositivos cuánticos.

Aplicaciones ópticas y electrónicas de los materiales.

El estudio de los materiales ha permitido entender su comportamiento y diseñar materiales y soluciones en otras áreas de aplicación. El interés es incorporar el comportamiento electrónico (control, propagación y detección de los electrones) y fotónico (generación, control, propagación y detección de los fotones) de los materiales en áreas como biología, biotecnología, salud, sensores, energía y ambiente.

El propósito es que las herramientas desarrolladas para entender a los materiales de manera experimental (espectroscopias eléctricas y ópticas) y teórica (modelos numéricos) permitan juzgar las potencialidades de los materiales en las aplicaciones emergentes como biológicas; propiedades mejoradas, o permitan explicar el comportamiento de materiales con interacciones complejas.

Desarrollar los fundamentos conceptuales que permitan trabajar problemas multidisciplinaria de los materiales y ayudar a entender las propiedades que surgen de la dimensión reducida.

Instrumentación con láseres ultrarrápidos.

La noción habitual de un láser es similar a la de un transistor, dispositivos fabricados en otro país y que tiene una función específica. La diferencia obvia, además del costo, es que en un transistor el diseño del circuito permite definir la ganancia y la misión del sistema electrónico está últimamente distribuida en todos los componentes electrónicos; no es una tragedia que compremos los transistores o para el caso, los circuitos integrados. En el caso de la fotónica si es una pena depender de los láseres comprados ya que los láseres comerciales trabajan sin control de la ganancia, el bombeo y las pérdidas definen el punto de operación. La evolución del láser de ser un dispositivo individual a ser un sistema fotónico esta empezando a darse, pero en este momento se

requiere de la versatilidad del diseño de la cavidad del láser para que se defina una función específica. Las posibilidades que se obtienen al controlar el proceso de operación del láser son muy variadas. Se pueden diseñar sensores activos muchas veces más sensibles al estar en un medio de ganancia que si lo está en un medio pasivo. Se pueden generar femtopulsoes que se han empleado para medir frecuencias de manera absoluta. En particular se puede introducir un cristal paramétrico en la cavidad láser y generar frecuencias distintas a las frecuencias donde el láser tiene ganancia. La generación paramétrica es un proceso cotidiano en electrónica y posible en fotónica, aunque hasta ahora externo a la cavidad láser, donde una cavidad óptica independiente al láser contiene un cristal paramétrico y es bombeada externamente por un láser. La construcción de un láser ultrarrápido tiene el doble propósito de ser un objeto de trabajo para emplearlo en experimentos como fuente coherente intensa (función clásica); además de ser un objeto de estudio donde se puede investigar los mecanismos de formación del pulso, de la compresión del pulso, de las interacciones de la radiación con los materiales y recientemente la construcción de sensores activos (nuestro interés).

Los pulsos de los láseres sintonizables pueden ser ultracortos con límite en el sistema LiSAF de menos de 10 fs (10 E -15 segundos). Lo que posibilita la generación pulsos cortos de manera artificial; existen aplicaciones con fuentes de longitud de onda ajustable, en particular en el infrarrojo cercano y medio de 1 a 20 μm donde se encuentran las firmas espectroscópicas de los compuestos químicos, al igual que las interacciones interbanda de los semiconductores. Los láseres de alta repetición y de pulsos de duración ultracorta (algunos femtosegundos), en si mismo, permiten abordar el estudio de la dinámica de fenómenos en este intervalo de tiempo, que si bien tienen manera de ser resulta con equipos comerciales, el alto costo y la poca flexibilidad los hace poco atractivos. Tan pronto como el diseño del láser forma el sistema fotónico, es posible explorar los fundamentos de la oscilación paramétrica, que a su vez permite la posibilidad de medir de manera absoluta (cuántica) la emisión y respuesta de dispositivos optoelectrónicos, (Sensores de fotones con técnicas de mecánica cuántica). En este caso se refiere a la comparación de la potencia generada de las fluctuaciones del vacío a una longitud de onda particular con la potencia generada por la amplificación de un cristal que trabaja como generador de ondas paramétricas y produce una calibración absoluta de la potencia inyectada al cristal.

La eficiencia de generación de radiación paramétrica demanda de gran potencia instantánea en la radiación de bombeo que incide sobre el cristal, lo que se pueden alcanzar con pulsos de luz ultracortos y dentro de la cavidad láser. Por ejemplo, el giroscopio láser ideal es un oscilador óptico paramétrico (OPO) con pulsos cortos circulando en las dos direcciones de giro. El punto de cruce de los pulsos se puede elegir arbitrariamente y se puede evitar el acoplamiento entre los pulsos que limita la sensibilidad del giroscopio. El principal problema para su realización es superposición de las regiones activas que requiere precisión subnanométrica, el cristal intracavidad promete resultados satisfactorios. El giroscopio es un espectrómetro diferencial capaz de medir la diferencia de fase del frente de onda que circula en una dirección respecto al que circula en dirección contraria. En éste caso, se puede determinar la diferencia de fase con gran resolución $\pi/1E 8$, y nuevas maneras de detectar variables físicas se han empezado a definir, tales como medición de transparencia (scattering), de distancia, de índice de refracción y de campo magnético, además de la posibilidad de sincronizar láseres físicamente independientes. Con estas expectativas está justificada la importancia de desarrollar láseres versátiles donde el láser no es un dispositivo que se

compra e incorpora sino que el sistema se desarrolla para resolver una problemática particular que se aplica de manera creativa a la instrumentación de variables físicas y químicas.

Materiales para aplicaciones en energía solar.

En general el problema de la energía es apremiante, con datos actualizados a diciembre de 2008 y con incertidumbre del 10% por los países con mala contabilidad, en el mundo, en 2006, se consumieron 15.78 TW y se estima que para 2050 se requerirá del doble. Este consumo se distribuye en fuentes fósiles, 13.7 TW, hidroeléctrica 1T W, nuclear 0.94 TW y otras (solar, viento, geotérmica, biomasa comercial) 0.14 TW.

En perspectiva, cada reactor de laguna verde produjo menos de 2 GW en el 2006 lo que demanda casi un reactor diario en el mundo para aportar la potencia requerida. Toda la potencia hidroeléctrica disponible en los ríos es cercana a 7 TW de la que aprovecha algo cercano a 1 TW. Toda la potencia de las mareas y las corrientes marinas en un año es cercana a 4 TW de las que se aprovecha una cantidad mínima. Algo similar sucede con la energía geotérmica, toda la potencia geotérmica en la tierra en un año es de 32 TW y mil veces menos podría ser recuperable. Viento, olas y gradientes térmicos en el océano disponen de 870 TW en un año, pero casi nada es aprovechada.

De los 162 000 TW de la radiación solar que llega a la tierra, 86 000 TW llegan a su superficie. Esta fuente de energía es el motor de la mayoría de los ciclos energéticos en la tierra incluyendo fotosíntesis pero prácticamente es nulo su aprovechamiento de manera directa.

Se estima que la biomasa tradicional (leña) aporta 1 TW al año, y si la biomasa comercial aspira a incrementar su participación, suponiendo que se obtiene un litro de etanol por metro cuadrado sembrado se requiere de 10 G metros cuadrados destinados para la siembra y la subsecuente generación de enormes cantidades de CO₂.

En México el consumo de potencia en 2006 fue de 0.33 TW. El 82% de la electricidad se obtuvo por combustibles fósil y casi el 99 % del transporte se alimenta por combustibles fósil.

Las oportunidades en las aplicaciones en energía son muy importantes; los materiales y los dispositivos electrónicos en donde los procesos permitan la transformación de la energía de manera eficiente es un reto apremiante y que requiere de la participación de talento en áreas multidisciplinarias, que incluya además de la física, la química y la ingeniería, de la biología.

Materiales de dimensión reducida, funciones específicas de los materiales y la incorporación de procesos biológicos por medio de dispositivos electrónicos podría ayudar a proponer soluciones a estos problemas.

Predicción de propiedades de los materiales

Pocos campos científicos muestran una relación tan estrecha entre la ciencia básica y sus aplicaciones como las que emplean a la nanotecnología. Por ejemplo el diseño de los transistores de túnel resonante, los dispositivos de electrones únicos o las

estructuras electrónicas moleculares son simplemente inconcebibles sin el desarrollo a profundidad de la mecánica cuántica. Al igual que es de remarcar el extraordinariamente rápido desarrollo del campo y de los muchos aspectos de interacciones fundamentales aun por descubrir.

Desde el punto de vista de un observador de la tecnología se puede visualizar el impacto de la nanotecnología desde diversos vertientes; en la mecánica, la electrónica, la biología se podrían dar múltiples ejemplos o especulaciones, algunas no se concretarán pero la búsqueda de su desarrollo permitirá imaginar nuevas avenidas de investigación y de aplicación. Pero podría ser útil referirse al desarrollo de las diferentes etapas de la tecnología de la información como ejemplo, en ella se espera que la nanotecnología actúe sobre los almacenes de información, sobre el procesado de la información, la transmisión de la información y la presentación de la información en todas ellas de manera mas eficiente de lo que contamos ahora.

La enumeración de campos que alimentan y se alimentan de la nanotecnología es muy florida y esta en busca de talento que lo desarrolle, donde los conceptos fundamentales son esenciales para su desarrollo. Las temáticas que hoy día se antojan novedosas y que seguramente evolucionaran a otras aun mas novedosas van desde redes fotónicas, interfaz neuroelectrónica, magnetoelectrónica, ferroelectrónica, dispositivos de transporte cuántico, electrónica molecular, electrónica superconductor, materiales nanoestructurados, interacciones ópticas y magnéticas, lógica multivaluada, computación cuántica, etc.

En adición a la importancia de las bajas dimensiones, la venerable óptica ha sido rejuvenecida por tres descubrimientos: el láser, las fibras ópticas y los dispositivos semiconductores ópticos.

Un nuevo interés en la óptica se esta logrando, como en otras áreas del conocimiento, gracias a las dimensiones reducidas y la importancia de la coherencia. Si bien es cierto, identificar a la venerable óptica en estos temas de estudio es un poco lejano, es normal que estos temas se reconozcan ahora como parte de la Fotónica; que en analogía a la electrónica se refiere al tratamiento del fotón (manifestación corpuscular de la radiación), de manera equivalente a como se trata el electrón (partícula elemental negativa), e indicar la estrecha relación entre la óptica y la electrónica. Así que la fotónica se entiende como la ciencia que estudia la generación, manipulación, propagación y detección de la radiación. La fotónica trata el uso de la radiación y la baja dimensionalidad para asistir el desarrollo de la tecnología de la información (entrada y salida de la información, sensores y exhibidores; transmisión de la información; procesar la información; y guardar datos). En un sentido más general se requiere de la concurrencia de procesos químicos, biológicos y físicos superpuestos con los procesos de información.

Igualmente espectacular es el desarrollo de la que se ha llamado biología del silicio, donde se emplea la palabra silicio como sinónimo de la tecnología electrónica dominante (igualmente incluye electrónica, fotónica o nanotecnología) y la palabra biología para referirse a la ineludible interfaz en los procesos de los seres vivos (igualmente se incluyen estructuras biológicas, procesos biológicos y su proyección en las dos direcciones, del sistema biológico hacia los procesos artificiales y viceversa).

Nanotecnología: es la creación y utilización de materiales, dispositivos y sistemas por medio del control de los materiales a escala nanométrica, esto es a escala atómica, molecular y estructuras supramoleculares. Es importante insistir que la nanotecnología no solo es un paso en la cadena de eventos que conducen a la miniaturización de estructuras como ha sido la microelectrónica, ahora se esta incluyendo un paso conceptual a una nueva serie de fenómenos que son evidentes cuando la dimensión estructural es del orden de la naturaleza física del fenómeno.

Biomimética (imitar procesos de la naturaleza).

Hoy día el estudio de los materiales es algo mas que solo jugar con los elementos de la tabla periódica, también tiene que ver con los procesos para su obtención (magnetita y el molusco chiton por ejemplo) y el lograr funciones mas especializadas, tales como materiales mas duros, capaces de sobrevivir ambientes biológicos, con procesos electrónicos mas controlados. El carbono sobresale singularmente por sus resultados espectaculares hasta ahora, grafeno, nanotubos, diamante, Kevlar, polifenileno vinileno (PPV).

Los humanos empleamos una secuencia de desarrollo para nuevos materiales empleando altas temperaturas, altas presiones y en general se obtiene muy mala calidad, pero los procesos químicos son simples. La naturaleza emplea temperaturas ordinarias, presiones ordinarias, obtiene muy buena calidad de producto, pero los procesos químicos son en general muy complejos y con la asistencia de catalizadores mas especializados.

La naturaleza ha refinado la aplicación de los materiales por medio de la evolución. Casi cualquier imaginable problema de ingeniería que enfrentamos, la naturaleza lo enfrentó antes y encontró una solución que nosotros estamos por descubrir. Hay quien lo toma literalmente y reconocen la Biomimética como la copia de las soluciones de la naturaleza.

Las técnicas de estudio de los materiales se tienen que adaptar para interpretar las propiedades que la naturaleza ha seleccionado, procesamiento de imágenes para encontrar patrones ocultos, especialización de materiales por composición y eficiencia, variación de funciones para un mismo material, etc. Los ejemplos mas comunes son la obtención de materiales, como por ejemplo la seda, en donde el material artificial es conocido pero las propiedades de las fibras no alcanzan las propiedades de la naturaleza; la biomineralización y los materiales especiales como la magnetita y la fotosíntesis con alternativa a generar hidrogeno en lugar de hidratos de carbono.

Métodos de la ingeniería aplicados a la ciencia.

Los impulsores de estas herramientas (leyes de semejanza, modelo de sistemas y análisis de señales, y control de calidad fuera de línea) han sido la industria hidráulica, la aeroespacial y la automotriz, las más beneficiadas son el resto de las ingenierías y los procesos de creación del conocimiento

La descripción de la naturaleza se puede lograr por medio de modelos, los modelos se pueden definir por medio de experimentos, el diseño de experimentos permite minimizar

el número de experimentos y los números adimensionales permiten ahorrar tiempo de experimento.

Los experimentos pueden ser extremadamente caros, mal uso del tiempo de experimento es doblemente caro. El propósito de un experimento es: tomar una decisión, encontrar dependencias entre variables y juzgar hipótesis. Formalmente se dice que se busca: disminuir la variabilidad y controlar el promedio.

El modelado de un aspecto de un problema por medio de computadora se puede lograr si se puede representar por relaciones matemáticas con ayuda de programas como ANSYS y COMSOL. El modelado físicamente se puede hacer también por prototipo en donde la representación de la naturaleza se logra con un objeto, usualmente con algún grado de escalamiento. El modelar físicamente un problema a escala reducida o ampliada o análoga requiere de planear, conducir e interpretar los resultados del experimento realizado, además se requiere de cumplir los límites teóricos impuestos por la similitud, lo que permite la interpretación de los resultados y su relación con el problema original que se pretende resolver.

Educación y Formación del individuo.

De manera general, y como miembros del sistema educativo, observamos frecuentemente, que la posición común de los profesores simpatiza con la hipótesis fundamental que supone que la percepción y la capacidad de los jóvenes se encuentra desenfocada, y que la única tarea que tenemos es la de hacerles ver la belleza del trabajo académico, de la ciencia, de la literatura y del arte. Como evangelizadores de la verdad única, tratamos de acercarnos a los infieles para rescatarlos de su error. No es difícil ver lo equivocado de esta idea.

Los mensajes que envía la sociedad a los jóvenes no sólo los aparta de los objetivos de una educación integral, sino que promueve su percepción como de escasa o nula utilidad para el progreso individual; las posibilidades de lograr el reconocimiento social y de alcanzar un nivel de vida digno mediante la educación son prácticamente inexistentes, las oportunidades laborales no reflejan la pertinencia del sistema educativo ante una estructura social que cambia constantemente sus estándares y objetivos, las ofertas salariales para los que logran colocarse en un empleo no se corresponden con las expectativas generadas por el bombardeo mediático, el desarrollo personal se encuentra subvaluado cuando se le compara con las posibilidades, esencialmente económicas, que los medios masivos ofrecen a los que satisfacen determinados estereotipos de moda o que el deporte brinda a unos cuantos en una etapa de su vida.

No es de extrañar, ante tal escenario, que los resultados académicos arrojados por el sistema educativo sean insatisfactorios desde muchos puntos de vista; se encuentra una gran fragmentación temática de los conocimientos adquiridos y, como una de sus consecuencias, la polarización del interés de los jóvenes hacia las áreas que menos los fuerzan o que más ofrecimientos materiales pueden otorgarles, la imposibilidad de generar una formación integradora, multifacética y multidisciplinaria, la asimilación de esquemas subjetivos, poco rigurosos, o inconsistentes con la realidad, para explicar fenómenos naturales, sociales y humanos. Nuestros jóvenes no aprenden de la experiencia humana acumulada y organizada en teorías de diverso grado de madurez, ni desarrollan criterios que les permitan integrar los conocimientos adquiridos para resolver los problemas que la vida o la sociedad les pueden plantear. Los jóvenes no

están aprendiendo lo que les queremos enseñar. Están aprendiendo cosas que NO les queremos enseñar.

Rafael Quintero Torres
Enero 2009