

Un estupendo artículo que debería ser de lectura obligada para todos los profesores y todos los estudiantes de la educación media y media superior.

La química maravillosa de fin de siglo

*Rosalinda Contreras Theurel**

La proximidad del nuevo siglo es un buen momento para revisar la situación de la química. Uno de los puntos más importantes a discutir con los alumnos es la idea de que la ciencia es una actitud innata en el hombre para la adquisición del conocimiento, que empezó desde el despunte de la inteligencia humana, que tiene un desarrollo continuo y que en este momento todavía desconocemos la mayor parte de lo que es la esencia de la naturaleza. También es importante comentar que todos podemos participar en el descubrimiento de la naturaleza, lo único que necesitamos es hacernos preguntas, contestarlas y reflexionar acerca de los ¿porqués? y el ¿cómo?

La ciencia no solamente es importante por los conocimientos que genera o por la conciencia de lo que somos y del control que podemos ejercer en nuestras vidas y sobre la naturaleza que nos rodea, también es importante porque nos permite lograr mayor bienestar y mejor calidad de vida.

¿En qué contexto científico encontramos a la química?

La química es una ciencia básica que permite conocer todo el comportamiento de la naturaleza. Para evaluar los procesos químicos es necesario usar las matemáticas como lenguaje y conocer las leyes de la física; estas dos ciencias son base de la química. El comportamiento químico y la estructura de átomos y moléculas puede modelarse o reproducirse utilizando modelos matemáticos, por lo tanto la química es una ciencia exacta.

Todos los procesos biológicos sin excepción ocurren a través de reacciones químicas; en consecuencia la química es la base de la biología. Es importante saber que la química no requiere de la biología para expresarse, aunque lo contrario sí ocurre.

La química es una de las ciencias que más capacidad intelectual requiere para comprenderse, el nivel de conceptualización en ella es muy profundo. Es una ciencia que propone continuamente retos intelectuales. Al decir esto es necesario tener en cuenta que no me refiero a que los químicos tengan que memorizar grandes cantidades de conocimientos. El almacenaje de la información es la función de los libros y las bibliotecas. Un buen químico tiene que desarrollar más bien características intelectuales de análisis, deductivas y creativas.

Veamos ahora qué ocurre con la química en el contexto universal. La química es sin duda la ciencia central, como quedó definida en el reporte Pimentel, por una comisión de científicos de la Academia de Ciencias de los Estados Unidos. Este reporte contiene un análisis para conocer la importancia de la química en el desarrollo de ese país. A lo largo de este texto discutiré brevemente parte de lo que ahí se comentó, y que desde luego se aplica también a nuestro país.

La química es una ciencia que tiene una relación muy directa con el desarrollo económico de las naciones, porque no existe ninguna industria en el planeta que no esté relacionada con procesos o materiales químicos. Normalmente la industria química contribuye enormemente a los altos ingresos de los países desarrollados, que exportan intensamente a los países pobres los materiales que fabrican y procesan.

El desarrollo industrial y la calidad de la enseñanza y de la investigación en química van de la mano. Uno de los índices del desarrollo es la calidad y el número de graduados en química de cada país. Si se analiza la situación de México en ese contexto veremos nuestra realidad. Hay muy pocas escuelas de química en el país que tengan una orientación verdaderamente científica, predominan escuelas de química sólo interesadas en producir técnicos medios. La cantidad de conocimientos científicos básicos (matemáticas, física, química, biología) que se adquieren en las licenciaturas es muy reducido. Existen muy pocos grupos de investigación en química, y a su vez se gradúa un número ridículo de doctores en esta área del conocimiento en nuestro país. Comparados éstos con los graduados en los países más desarrollados se encuentra una relación del orden de uno a quinientos, en el mejor de los casos.

Es importante que los profesores del nivel bachillerato tomen conciencia de la importancia que tiene el hecho de que en una sociedad haya personas dedicadas al trabajo científico, que es necesario tener más ingenieros, matemáticos, químicos, físicos, biólogos, etcétera. Porque de ellos dependerá el futuro del país, y esta idea debe de expresarse. Es en las escuelas secundaria y preparatoria cuando muchas vocaciones se forman. Los profesores tienen la obligación de enseñar en la medida de su capacidad y de su información, el interés y la importancia de las ciencias.

¿Qué hacen los químicos?

Entre las variadas actividades de los químicos está la exploración para conocer las reglas universales del comportamiento de la materia, ya que al entenderla es posible dominarla.

* Departamento de Química, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, A.P. 14-740, 07000 México, D.F.

Recibido: 23 de junio de 1994; Aceptado: 1 de noviembre de 1994.

También les interesa saber qué moléculas y materiales existen en el universo, desde las estrellas más lejanas hasta las profundidades de nuestro planeta. En los seres vivos ocurre una química extraordinariamente variada y compleja, que los químicos, y recientemente los biólogos, se han interesado por conocer en detalle, aunque aquí conviene decir que estamos muy lejos aún de poder hacerlo.

Pero no solamente la contemplación y el entendimiento de la naturaleza preocupan a los químicos, en su trabajo también hay una gran parte de creatividad. Una vez que las leyes de la naturaleza han sido entendidas, los hombres han intentado reproducir con sus propias manos los procesos químicos, y desarrollado nuevos compuestos y materiales, sobrepasando en atrevimiento a la naturaleza, al crear materiales exóticos nunca antes vistos.

¿Cómo ha llegado la humanidad a este nivel? Los instrumentos electrónicos y las computadoras han permitido que veamos cada vez mejor lo más lejano, lo más pequeño, lo más escondido, lo más profundo y lo más rápido (eventos que ocurren en nano y picosegundos).

A continuación narraré algunos ejemplos del avance de la química que llaman poderosamente mi interés y que puede ser útil mencionar aquí.

Microscopio electrónico de barrido

No hay duda que entre muchos instrumentos, los microscopios son los que han producido el avance más gigantesco de la biología, al permitir el descubrimiento de los microorganismos y la estructura orgánica de las células y el entendimiento de su fisiología y comportamiento.

Recientemente, los físicos han desarrollado una nueva manera de ver lo pequeño que se conoce como microscopía electrónica de barrido por efecto túnel. Permite, a través de una aguja metálica terminada en una punta del tamaño de un átomo, hacer un barrido por una superficie a una distancia que es una fracción del tamaño de un átomo. La aguja, con un voltaje eléctrico muy débil, puede percibir la presencia de átomos al pasar. De esta manera, una vez que la información ha sido procesada se pueden "visualizar" los átomos. Ésta es una técnica extraordinariamente poderosa que en el futuro permitirá hacer magníficos descubrimientos. Por el momento, ya se han tenido vistas maravillosas de una porfirina de cobre, de moléculas de benceno y hasta del ADN. Las imágenes corroboran todo lo que se había establecido para las estructuras atómicas y moleculares. Probablemente esta técnica se desarrolle en el futuro como un método de análisis estructural rutinario.

Pero se ha ido un poco más lejos con lo anterior. Los ingenieros de la compañía IBM han logrado desplazar los átomos con la misma punta del microscopio y los han colocado voluntariamente en posiciones precisas, han trabajado en dos dimensiones desplazando átomos de gas sobre una superficie metálica, y

se supone que pronto se podrá trabajar en tres dimensiones. Con este hecho se habrá dado un paso tan grande como caminar en la luna, pues por primera vez en la historia, el hombre podrá hacer una molécula directamente con sus manos poniendo los átomos uno por uno en la posición que quiera.

Esto pudiera parecer una historia de ciencia ficción sin mayor trascendencia. Sin embargo, la idea de hacer máquinas moleculares está ya en la mente de muchos científicos. Se sabe que muchos equipos y computadoras electrónicos requieren de la miniaturización. Por lo tanto es importante hacer objetos cada vez más pequeños. Los instrumentos moleculares tendrían el concepto de que con una sola molécula se pueda hacer un trabajo a partir de un movimiento, un cambio de forma, de luz, de calor, de información, etcétera. De esta manera se puede pensar ya en la construcción de computadoras moleculares, que podrían ser la aproximación a un cerebro humano.

Existen en el arsenal de los químicos equipos muy variados y desde luego muy complejos, con potentes computadoras y complicado equipo electrónico que permite hacer análisis químicos con una precisión extraordinaria. Entre muchos, citaré dos ejemplos que están más cerca de mi experiencia.

Análisis molecular por difracción de rayos-X

El primero es el que se utiliza para el estudio de la difracción de rayos-X, método que permite conocer la estructura molecular de cristales unitarios. La base es muy sencilla; es necesario irradiar el cristal con rayos X y medir la difracción de la radiación, el análisis de ésta permitirá conocer con precisión la posición de todos los núcleos. La información recabada es analizada por computadoras poderosas en tiempos muy cortos y transformada en una especie de descripción "fotográfica" de la molécula, que incluye la posición de los átomos, las distancias entre ellos y los ángulos de los enlaces, entre otros datos. La determinación de una estructura molecular por la técnica de difracción de rayos-X tomaba meses de trabajo muy laborioso a los químicos de los años setenta. Ahora, se puede realizar el mismo análisis en tiempos récord de pocas horas.

Análisis químico por resonancia magnética nuclear

La otra técnica que quiero mencionar es la resonancia magnética nuclear, que está basada en el comportamiento magnético de los núcleos atómicos. Éstos, en un campo magnético, se alinean al recibir energía de una determinada radiofrecuencia. Cuando la excitación cesa y los núcleos regresan a su estado basal, se analiza su comportamiento y esto es transformado en información que nos dice cuántos núcleos existen en la molécula, de qué tipo son, cómo se mueven, cuál es su geometría, etcétera. Este análisis puede ser aplicado a todos los elementos de la tabla periódica, a sistemas en solución o en estado sólido. Por lo anterior, la resonancia magnética nuclear se ha convertido en la técnica de análisis químico universal. Conviene comentar que el descubri-

miento de la resonancia magnética nuclear fue realizado por dos grupos científicos cuyos jefes, Purcell y Bloch, recibieron el premio Nobel en 1952. Este descubrimiento podría haberse considerado ocioso, pues originalmente no parecía tener ninguna aplicación. Los químicos han utilizado brillantemente esta técnica a la cual se debe el avance espectacular de la química en este siglo.

La aventura de la resonancia magnética no ha quedado ahí.

La observación puede hacerse también en organismos vivos, sin que se les produzca ningún daño, y la información que se recaba comprende no solamente las estructuras rígidas sino también la bioquímica de los seres observados. Esta técnica, que ya ha llegado a los hospitales, es mucho más poderosa que las radiografías y seguramente en el futuro permitirá un avance notable en la medicina y el diagnóstico clínico.

La modelación de la química

El desarrollo de la computación ha tenido un impacto notable en el florecimiento de la química, pues los químicos han encontrado una herramienta que permite multiplicar su capacidad. Afortunadamente, las computadoras aún no han podido sustituir a los científicos. Como la química se rige por leyes matemáticas precisas es posible describir el comportamiento y la estructura de las moléculas usando funciones matemáticas, por lo que una computadora puede modelar con precisión a las moléculas, mostrando su forma, tamaño y comportamiento químico. Esto permite predecir una gran cantidad de información acerca de las moléculas y tener una visión complementaria del comportamiento más profundo del mundo microscópico. Los químicos comparan los datos que generan las computadoras con sus datos experimentales, enriqueciendo los conocimientos. Esta información se vuelve muy valiosa cuando se aplica a compuestos biológicos, porque permite entender los procesos vivos. Para poder modelar moléculas muy grandes, como las biológicas, se requiere de computadoras gigantes, que

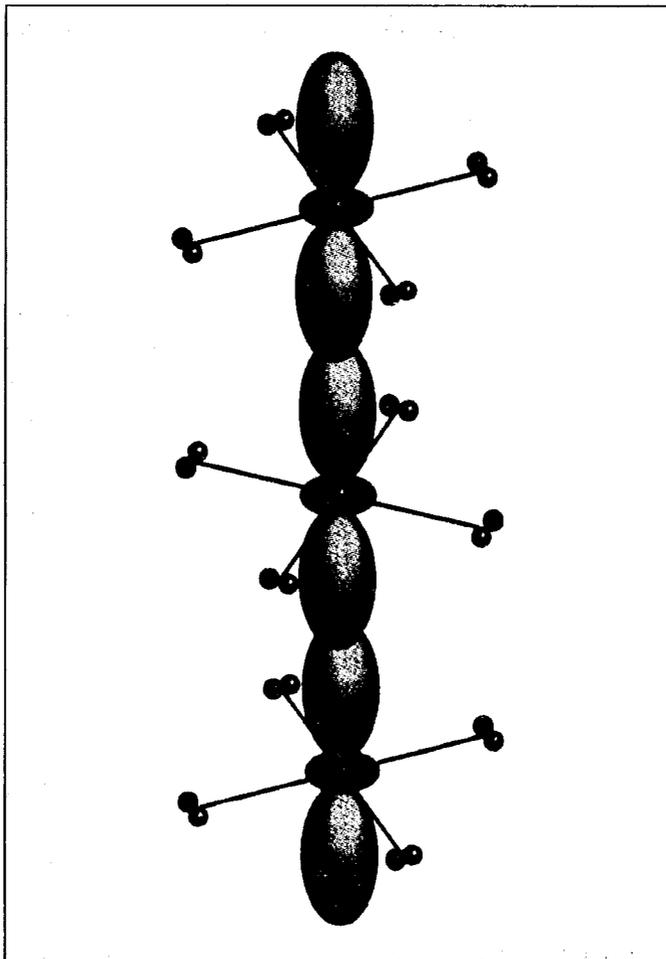
afortunadamente son cada vez más accesibles.

La información química

Los químicos son los científicos que más información generan, como se puede apreciar del *Chemical Abstracts*, que es un compendio de resúmenes de todos los artículos científicos en química que se publican en el mundo desde 1907. El año pasado este compendio reseñó cerca de doscientos cincuenta mil trabajos y, según el libro Guinness, es el compendio científico más grande del mundo.

Toda la información que se recaba en química es valiosa y siempre actual, porque corresponde a observaciones precisas. Algunas interpretaciones cambian probablemente con el tiempo, pero no los datos, razón por la cual para los químicos la información que se encuentra en las bibliotecas es extraordinariamente valiosa, incluso aquella que fue recopilada en el siglo pasado. La información que se ha acumulado es muy grande. Actualmente se popularizan formas de investigación bibliográfica en bancos de datos por computadora.

Para darnos una idea de lo importante que es conservar la información, conviene saber que en este momento, el número de moléculas estudiadas y razonablemente identificadas es de alrededor de veinte millones. La pregunta importante es ¿cuántas más se podrán descubrir o hacer?



La respuesta es que el número de combinaciones que puede hacerse con los elementos de la tabla periódica disponibles (alrededor de 90), con las distintas geometrías de cada átomo y con las combinaciones de diferentes números de átomos es: ¡un número infinito! Por lo tanto, los químicos del futuro tendrán posibilidades de investigación también infinitas. No podemos descartar la posibilidad de que máquinas extraordinariamente complicadas se den a la tarea de construir moléculas siguiendo una programación establecida por el hombre, recordemos que ya hay máquinas que automáticamente se dedican a construir péptidos.

La química y la calidad de vida

Los químicos se dedican en estos momentos también a la construcción de los materiales inteligentes, aquéllos que en una situación determinada tienen un comportamiento específico, por ejemplo una respuesta al calor, a la luz, a la radiofrecuencia, etcétera, que pueden usarse para construir instrumentos muy avanzados, o aun para dar mayor comodidad al hombre, como telas para el vestido o materiales para las habitaciones. Un ejemplo es el de los vidrios inteligentes, que pueden cambiar su color de acuerdo con la cantidad de luz y preservar un ambiente agradable.

Entre los materiales que son muy útiles tenemos a los polímeros, que pueden tener muy diversas propiedades; los que pueden ser ligeros pero tan fuertes como un metal, otros que pueden resistir altas temperaturas, aquéllos que no son inflamables, otros duros, resistentes a los disolventes, etcétera. Un ejemplo claro de su aplicación lo tenemos en los automóviles modernos, los aviones, los barcos, la ropa y los muebles, los objetos para los deportistas y otros más. Evidentemente, el conocimiento químico básico permite aportar estrategias para la construcción de estos materiales. Sin ese conocimiento, ello sería imposible. En el futuro se construirán materiales cada vez más perfectos y cada vez más útiles para tareas complicadas; recordemos por ejemplo a las fibras ópticas, que permitirán que todos los teléfonos, las televisiones y las computadoras se conecten en redes gigantescas, con una alta calidad de desempeño. Por ejemplo, para conectar de esta manera a Europa y Estados Unidos se requiere únicamente de un pequeño cable, tal vez no mayor de un centímetro de diámetro. Por no citar a los cristales líquidos, que permiten que las computadoras y las televisiones sean cada vez más pequeñas y delgadas, del tamaño de un pequeño directorio telefónico. O las televisiones del tamaño de un reloj pulsera, que serán perfectamente posibles en muy poco tiempo.

Muy recientemente se ha reportado la construcción de electrodos pequeños de silicio que, montados en una especie de cepillo pequeñísimo, pueden ser el sustituto de un ojo, pues insertados en el córtex visual permiten que por impulsos eléctricos generen imágenes en el cerebro y que personas carentes de la vista puedan ver. Este dispositivo tendría que estar acoplado a una cámara de televisión que estaría en un ojo artificial. El que esto pueda convertirse pronto en un método de visión artificial accesible a los invidentes depende de qué tan pequeño y con qué eficiencia se pueda construir toda la prótesis. Esto a su vez dependerá de la calidad de los materiales que los químicos puedan construir.

La química tiene un gran impacto en la calidad de vida de la humanidad, pues está relacionada con el acceso a las fuentes de energía. Por ejemplo en los Estados Unidos se sabe que alrededor de 90% de la energía que consume ese país proviene de fuentes químicas. En general, en los países desarrollados prácticamente todos los materiales provienen de procesos químicos

industriales dependientes de fuentes de energía.

En la química existen áreas de investigación extremadamente útiles y éste es el caso de los catalizadores, sustancias que aceleran las reacciones químicas permitiendo que ocurran con un gran ahorro de energía. En el mundo biológico esta clase de sustancias son conocidas como enzimas, y a ellas se debe que los procesos químicos dentro de los organismos se controlen. Un ejemplo es la combustión de sustancias orgánicas, que en el exterior de los seres vivos hace que la temperatura del objeto que se quema se incremente tanto que produce daño a los seres vivos que estén suficientemente cerca. Esta misma combustión ocurre dentro de los seres vivos, pero controlada por las enzimas para que la temperatura nunca se eleve a niveles peligrosos. El desarrollo de los catalizadores es importante, porque permite la realización de reacciones selectivas con altos rendimientos y bajo costo. A pesar de que se conocen muchos catalizadores para muchos fines, es necesario todavía seguir investigando intensamente en esta área pues al tener procesos más limpios, y con menor gasto de energía, se tendrá a su vez menor contaminación.

La producción de alimentos depende de la investigación química, que ha permitido desarrollar fertilizantes, disminuido las plagas con insecticidas, feromonas y/o con el control de sus sistemas de autodefensa. Además, esta investigación ha mejorado el crecimiento de animales y plantas con el uso de hormonas y reguladores del crecimiento. Y ha permitido el reconocimiento químico de los ciclos biológicos y de la fotosíntesis, el proceso más importante del planeta para captar la energía solar. Sin este trabajo de los químicos sería imposible alimentar a la población mundial, que se aproxima a los seis mil millones de habitantes. Los químicos se esfuerzan, dentro de gigantescos equipos de investigación, por buscar mejores soluciones para incrementar la producción alimentaria con la menor contaminación posible. Para que esto se logre es necesario que la química siga floreciendo.

La investigación en química tiene una incidencia fuerte sobre la salud, a través de varias vías del entendimiento de los procesos biológicos a nivel molecular, del desarrollo de la bioquímica, la fisiología, la farmacología y el diagnóstico clínico, en la elaboración de prótesis y de material de curación, en la ingeniería genética y en la investigación y la elaboración de medicamentos.

Es evidente que los medicamentos actuales son todavía bastante primitivos y que es necesario producir más y mejores sustancias que sean más eficaces y selectivas para el tratamiento de las enfermedades y que produzcan el mínimo de efectos tóxicos. Recordemos también que existen muchas enfermedades para las cuales todavía no hay fármacos. Entre ellas muchas de las que aquejan intensamente a los países subdesarrollados como son las parasitosis, las nuevas enfermedades como el SIDA, y aún otras muy antiguas como el cáncer pero muy difíciles de curar.

Es por eso que ejércitos de investigadores trabajan en los grandes laboratorios farmacéuticos para producir miles de sustancias nuevas que son probadas para encontrar aquellas con

buenos efectos. Conviene mencionar que para hallar una sustancia útil es necesario construir de dos a diez mil moléculas en promedio. Por lo que a estas alturas del siglo es fundamental continuar con la investigación en el desarrollo de nuevos medicamentos, nuevos materiales de curación, nuevos métodos de diagnóstico, etcétera.

La química y el medio ambiente

Hay una confusión en la identificación de las causas del deterioro ambiental, ya que las personas mal informadas lo atribuyen a la química, a los químicos o a las sustancias químicas. Esto es muy grave porque incluso algunos movimientos ecológicos mal informados tienden a distorsionar la opinión pública acerca de este problema. Sin duda, el deterioro ambiental se debe a la sobrepoblación, a la necesidad urgente de producir enormes cantidades de alimentos, al exceso del uso de combustibles orgánicos, a la destrucción de selvas y bosques, a la existencia de industrias mal construidas, mal administradas y con tecnologías antiguas, pero la causa más importante del deterioro ambiental es la ignorancia. Muchas industrias contaminan innecesariamente porque usan sistemas muy primitivos, por ignorancia o por falta de ética. El papel de los químicos en esta situación es el de trabajar para mejorar los procesos donde se genera la contaminación, aconsejar correctamente a los industriales para evitarla, etcétera. Y trabajar para que los problemas de la contaminación sean explicados correctamente, enfocando bien sus causas. Es necesario insistir, por ejemplo, en que las sustancias químicas extrañas al organismo son benéficas, si son usadas correctamente (como los medicamentos), que todo lo que nos rodea son sustancias químicas, que nosotros mismos somos un conjunto de sustancias químicas en un medio acuoso, que los alimentos que ingerimos están compuestos de sustancias químicas, etcétera.

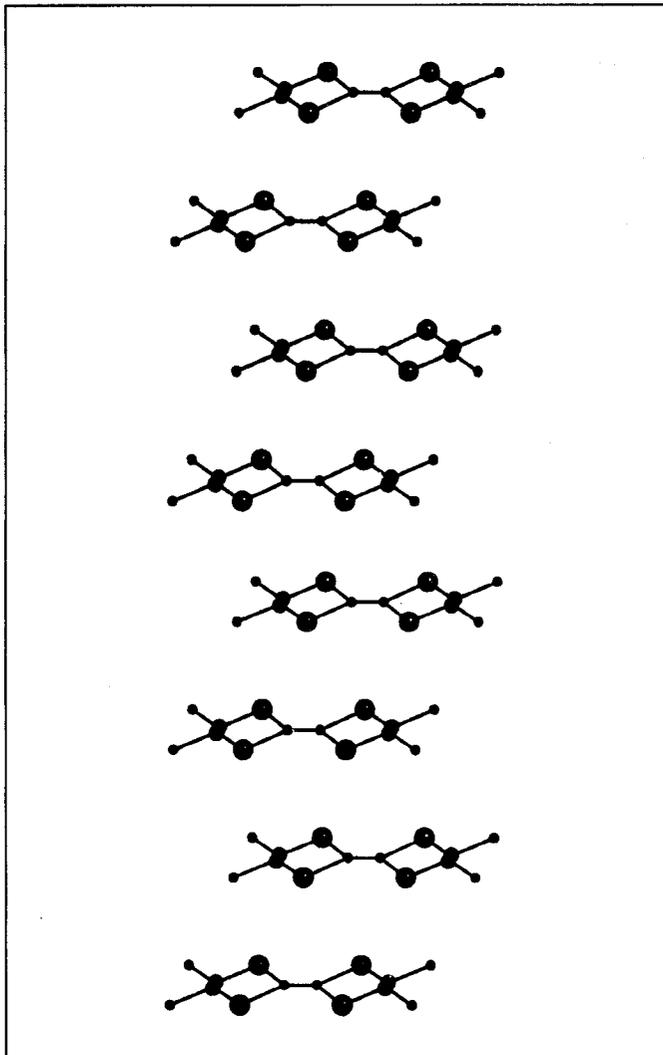
¿Cuál es la situación de la química en el umbral del siglo XXI?

La respuesta es que cada vez más nuestro desarrollo y bienestar dependerá de la investigación científica en esta área; dependerá también de que se preparen estudiantes en las escuelas y universidades con un entrenamiento muy completo y moderno en ciencias básicas; de que estos conocimientos sean llevados por los químicos a las industrias; de que nuestra sociedad entienda los beneficios de una educación de alta calidad y de que las ciencias son importantes para vivir mejor; dependerá, finalmente, de la

conciencia en cuanto a que todavía desconocemos nuestro mundo, nuestro universo, las leyes que lo rigen, las posibilidades de creación de nuevos materiales, que sabemos mucho menos que lo que desconocemos.

¿Cuál será nuestra perspectiva en México en este contexto?

La respuesta es simple, desde mi punto de vista, lo más caro que un país puede pagar es la ignorancia. Gracias a ella perdemos muchas materias primas que somos incapaces de procesar y que parten al extranjero a precios ridículos, pero que regresan en forma de objetos o de sustancias químicas de alto costo, y que nosotros debemos importar porque somos incapaces de procesarlas por nosotros mismos, al carecer de técnicos o científicos bien preparados en número suficiente. Otro costo de la ignorancia es lo que pagamos por instrumentos o equipo complicado que es necesario comprar para ser usado en fábricas, hospitales, industrias, oficinas, y a veces hasta en nuestro hogar, y que no sabemos producir. Ejemplos como el anterior se pueden encontrar abundantemente. La única forma para conjurar los malos efectos de la ignorancia es sólo una:



¡MEJORAR LA CALIDAD DE LA EDUCACIÓN!