

# La complementariedad de la bomba\*

Richard Rhodes\*\*

Niels Bohr comentó en alguna ocasión que la meta de la ciencia no es alcanzar la verdad universal, una meta que el orden natural del mundo, en todo caso, hace inasequible. Por el contrario, Bohr pensaba que la meta de la ciencia es "la eliminación gradual de prejuicios" (Bohr, 1958).

Uno de estos prejuicios es la guerra. El descubrimiento de la fisión nuclear, que conmemoramos en este simposio, contribuyó de manera indiscutible a su eliminación gradual.

En 1939 Bohr había anunciado a los Estados Unidos el descubrimiento de la fisión ocho meses antes de que la Segunda Guerra Mundial estallara en Europa. Esto electrizó a la comunidad de físicos y fascinó a los lectores de suplementos dominicales. En cuestión de semanas los experimentos en el Collège de France y la Universidad de Columbia demostraron que se podrían fabricar bombas si se extrajera  $U^{235}$  del uranio natural en alguna forma. Bohr se dio cuenta de que tan difícil extracción requeriría una planta física enorme y regresó a Dinamarca confiando en que ninguna nación podría permitirse un esfuerzo industrial de tal magnitud durante una guerra mundial. Como hemos visto, se equivocó en su apreciación.

Bohr escapó a la ocupación Nazi de Dinamarca en 1943, horas antes de que llegara la Gestapo. Vio, con gran asombro, primero en Inglaterra y después en Estados Unidos, que la enorme planta industrial de la cual dudó en 1939 estaba casi construida. Comprendió que el trabajo estaba bien hecho —muchos de sus antiguos alumnos lo habían supervisado—; y éste sin duda culminaría con la fabricación de bombas atómicas. Habló con el joven Edward Teller en Los Alamos (Nuevo México), donde está el laboratorio de armas secretas tan hábil-

mente dirigido por Robert Oppenheimer; se enteró entonces de la posibilidad de fabricar bombas aún mayores, bombas con hidrógeno pesado como combustible; éstas podrían explotar con una fuerza muy superior a la de las bombas cuyos combustibles fueran el uranio o plutonio, el nuevo elemento sintético. Bohr no perdió la oportunidad de dedicar su perspicacia y original mente a la tarea de descifrar cuál sería el significado potencial de tal liberación explosiva de energía nuclear.

Vio casi todo, y al parecer lo vio casi de inmediato. Esto, en mi opinión, es un factor que hace tan asombroso el caso: cuán rápida y profundamente veía.

Bohr vio primero lo que un físico vería: la enorme energía que estas nuevas armas liberarían: el equivalente a mil toneladas de TNT, el equivalente a 10 mil toneladas de TNT; Edward Teller ya hablaba de armas equivalentes a 10 millones e incluso a 100 millones de toneladas de TNT. Conocemos hoy estas cifras. Ya casi no les hacemos caso. No carecen de sentido. Según su carta a Franklin Roosevelt en el verano de 1942, significaron para Bohr que el nuevo conocimiento de cómo liberar energía nuclear "cambiaría completamente todas las futuras condiciones de la guerra" (Bohr, 1944). Más tarde expresó lo mismo con más fundamentos al decirle a un amigo: "Estamos viviendo una situación completamente nueva, que no se puede resolver con la guerra" (Nielson, 1963). Cuando la bomba apareciera, como sin duda sucedería, ninguna nación podría ya ganar. Un arranque de destrucción mutua sería posible, pero no la guerra.

Las naciones-estado del mundo flataron en un limbo de anarquía internacional. Ninguna autoridad superior restringió sus relaciones. Negociaron voluntariamente según sus propios intereses y aprovecharon las oportunidades que se les presentaron. La guerra habría sido su última forma de negociar, y así decidían brutalmente sus peores desacuerdos. Una nación ganaba, y otra nación perdía. La vencedora tomaba la decisión y los despojos.

Había aparecido, entonces, una autoridad superior. Si los estadistas no lograron reconocerla, se debía a que

\* Artículo publicado con autorización del autor, aparecido originalmente en *J. Chem. Educ.* 66 (5) 376-379 (1989). La dirección de *Educación Química* agradece el excelente trabajo de traducción de la M. en L. Anne Albarelli Janetti y de revisión de la M. en A. Concepción Abellán Giral.

\*\* One Berkeley Place, Cambridge, MA 02138.

no era un grito de batalla o un tratado o un comité de hombres. Se parecía más a un dios que baja al escenario en un coche dorado, un *deus ex machina*. Era un mecanismo que las naciones podían construir y almacenar, que encerraba una energía sin límite; un mecanismo que las naciones que pudieran financiarlo *construirían* en defensa propia desesperada, tan pronto como se enteraran de su existencia y adquirieran los medios técnicos. Parecería entonces que esto otorgaría seguridad a sus constructores, pero porque no había y quizá nunca habría una defensa segura contra un mecanismo tan potente y portátil. A la larga, cada unidad adicional agregada al almacenamiento, *disminuiría* la seguridad al aumentar el temor de la amenaza general, hasta que se descubriera una inseguridad total al alcance de cualquiera. Las naciones, al perseguir cada una sus propios intereses, habrían reunido, involuntariamente, los medios de destruir no sólo a sus enemigos, sino a sí mismas.

Por la necesidad, generalmente aceptada, de evitar desatar un holocausto suicida, el *deus ex machina* hubiera logrado entonces lo que los hombres y las naciones no habían podido lograr con la negociación o la conquista: la abolición de una guerra abierta por lo menos. La seguridad total sería indistinguible de la inseguridad total. Una suspensión amenazadora, una situación de jaque-mate, una forma de paz mundial vil, cruda y peligrosa se mantendría de manera sospechosa, precaria, al borde de la aniquilación. Antes de la bomba, las relaciones internacionales habían oscilado entre la guerra y la paz. Después de la bomba, la guerra abierta entre las potencias nucleares sería una auto-derrota suicida.

La guerra mundial se convirtió así en algo histórico, no universal: una manifestación de tecnologías destructoras a escala reducida. Su tiempo pasaría pronto; Bohr lo vio. El péndulo oscilaría entonces con mayor amplitud entre la paz —aunque fuera inestable— y el suicidio nacional; entre la paz y la muerte total.

Bohr lo vio con mucha anticipación: desde entonces hasta este momento. Pero vio aún más lejos. Vio más allá del presente. Vio hacia un futuro que apenas nos hemos atrevido a imaginar, y encontró en él una posibilidad de esperanza.

La mutua liberación de la tiranía impuesta por las armas nucleares exigiría negociar ciertas condiciones. Exigiría que esas condiciones cambiaran y no por elección. Las exigiría inevitablemente por la pura destructividad de las armas mismas. Y tales condiciones tendrían consecuencias posteriores. “En mi opinión”, escribió Bohr, “la misma necesidad de un esfuerzo combinado, que impidiera tan funestas amenazas a la civilización, ofrecería oportunidades muy especiales para salvar las divergencias internacionales” (Rozenthal, 1967).

Para Bohr era obvio que ninguna nación confiaría en la simple promesa de reducción de armas o el desarme, hecha por otra nación. Cada una querría ver por sí misma que la otra no estuviera construyendo bombas en secreto. Llamamos a esto “verificación” del problema.

Bohr vio que no era sólo un problema sino una oportunidad. “Todo lo que amenazara al mundo —como explicó Robert Oppenheimer— tendría que abrirse al mundo” (Oppenheimer, caja 247). Una apertura tan radical de la vida nacional y de las fronteras nacionales lograría algo más que impedir o revertir la carrera armamentista. Al igual que en la ciencia, hacer pública la información y ponerla al alcance de todos, descubriría los errores y desenmascararía los abusos. Los hombres llevaban a cabo en secreto, tras puertas cerradas y fronteras vigiladas e imprentas silenciadas, lo que los avergonzaba o atemorizaba que se diera a conocer al mundo. Bohr comentó estas ideas con George Marshall, el líder bélico militar, después de la guerra, cuando Marshall era Secretario de Estado. “Es apenas necesario —dijo Bohr a Marshall— explicar lo que significaría que se permitiese juzgar y comparar toda la perspectiva de condiciones sociales en todo país” (Oppenheimer, caja 247).



Si la desigualdad política y material condujera a la guerra, la apertura mundial permitiría que la gente de cualquier lugar comparara sus condiciones con las de sus vecinos y actuara en consecuencia. A largo plazo, tal apertura funcionaría como alivio.

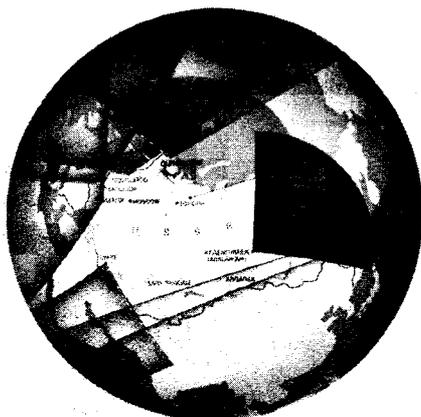
La bomba, en su manifestación última la máquina de muerte total, eliminaría la desigualdad de los hombres y de las naciones al destruir sin distinción, en un último Apocalipsis, a ricos y pobres, demócratas y totalitarios. Complementariamente, la apertura del mundo, necesaria para evitar o revertir la carrera armamentista, por fin eliminaría *también* la desigualdad, pero hacia la vida, no hacia la muerte.

“El simple hecho de que el conocimiento sea en sí la base de la civilización —escribió Bohr, de la manera más profunda—, indica en forma directa que la apertura es el modo de superar la crisis actual” (Rozenthal, 1967).

¿Estaba Bohr en lo cierto? Sí, creo que estas cuatro últimas décadas demuestran que tenía razón.

Desde 1945 se ha luchado en muchas guerras, y éstas han causado un número de víctimas bastante brutal, a pesar de que todas han estado limitadas. Ninguna se ha ampliado a una guerra mundial. De los miles de armas nucleares en los arsenales mundiales, desde 1945 ninguna se ha detonado en un arrebatado de cólera. A pesar de la beligerancia con frecuencia explícita y a pesar de provocaciones que hubieran desatado fácilmente una guerra abierta en una otra época, las superpotencias no han llegado, ni una sola vez, a un estado de alerta militar máxima entre ellas (Bracken, 1983).

Un control histórico de este tipo es asombroso en el caso de naciones-estado tan contenciosas como Estados Unidos y la Unión Soviética. La carrera armamentista



que lo oscurece prueba que no proviene del cambio, durante milenios, en el corazón de los hombres. Por el contrario, parecería que se ha impuesto a las naciones mediante el cambio, durante milenios, de circunstancias que Bohr previó. En 1945, la ciencia entregó al sistema de naciones-estado una manzana envenenada. Mordimos, y el dulce veneno catalizó un cambio radical.

El cambio más radical es también el que se acusa menos. En otras palabras, las naciones soberanas desistieron a su pesar, pero por su voluntad, de algunas de sus reclamaciones de soberanía. Desistieron de luchar en guerras abiertas aunque el limitar sus guerras limitara sus victorias, e incluso conllevara la derrota. Accedieron a violaciones constantes de su soberanía territorial por medio de sistemas de reconocimiento aéreo y espacial, e incluso aprendieron a aceptarlas. Acordaron limitar las pruebas de armas nucleares, lo que ha restringido hasta cierto punto la búsqueda de una defensa nacional eficiente. Modificaron sus prejuicios más preciados para justificar coexistir con sistemas políticos previamente considerados intolerables y amenazadores.

Las limitaciones de guerra que las superpotencias aceptaron son un ejemplo particularmente convincente de este proceso.

En mayor o menor grado, la limitación nuclear ha afectado a todos los conflictos y enfrentamientos de las cuatro últimas décadas: durante el bloqueo de Berlín en 1948; en Corea; durante las distintas crisis en Indochina y los Estrechos de Taiwan; en Suez en 1956; en Bahía de Cochinos de manera implícita; durante la crisis de misiles en Cuba; en relación con Vietnam; durante la Guerra del Medio Oriente en 1973; de manera implícita también en las Malvinas, Granada y Afganistán. Las pruebas documentales (Betts, 1987) de que Estados Unidos o la Unión Soviética utilizaron amenazas más o menos explícitas de una escalada nuclear con el fin de mantener muchos de estos conflictos aislados, sirven para reforzar aún más esto.

Hace menos de dos décadas, los vuelos de nuestros aviones espía U-2 sobre territorio bajo la soberanía soviética provocaron el fracaso de una importante conferencia cumbre y contribuyeron a que Nikita Krushchev fuese destituido de su puesto como Primer Ministro. De hecho, el liderazgo soviético pensó seriamente en calificar los vuelos del U-2 de actos de guerra y en corresponder con la misma moneda (Beschloss, 1986). La Unión Soviética y los Estados Unidos han comprendido, hoy en día, el papel crucial de la información para un mundo nuclear donde la ignorancia puede significar el holocausto, y han abierto sus cielos a un reconocimiento cada vez más complejo. Por mantener la paz, ambas naciones toleran este escrutinio. Con el Tratado sobre las Fuerzas Nucleares de Alcance Medio (Intermediate-range Nuclear Forces Treaty), las superpotencias aceptaron que también personas de origen extranjero hicieran una inspección a nivel de tierra, otra nueva forma de modificar las nociones tradicionales de soberanía.

Esto puede parecer un alivio menor cuando se compara con la dura, terrible realidad de la carrera armamentista; con la de 50 mil armas nucleares en el mundo, y siguen llegando más; con la del explosivo equivalente a más de 5 millones de Hiroshimas al alcance. Quienquiera sentirá sólo el horror más profundo si analiza la carrera armamentista: su escala; su omnipresencia; los juegos a los que los ejércitos, las marinas y las aviaciones de las superpotencias se dedican cuando cuentan golpes maestros contra ellos; la fragilidad del mando nuclear y de los sistemas de control nuclear; la proliferación constante en vertical y en horizontal. Construimos para nuestros enemigos, pero también para nosotros, una máquina de muerte total. Vivimos de manera precaria tras sus barricadas y contemplamos cómo giran los dientes de sus ruedas y escuchamos cómo suenan sus relojes.

Muchos motores, entre ellos la cautela, el miedo, el malentendido, la ambición y la codicia, manejan la carrera armamentista, pero a menudo se descuida un motor, aquel que puede invertir la marcha de la máquina. Me refiero a la necesidad militar, el requisito lógico, al que se opone una resistencia de miras estrechas, pero que a la larga es convincente, el requisito que los sistemas de armamento tienen que operar. Es precisamente

hacia ese punto hacia donde la ciencia sigue dirigiéndose de manera más útil.

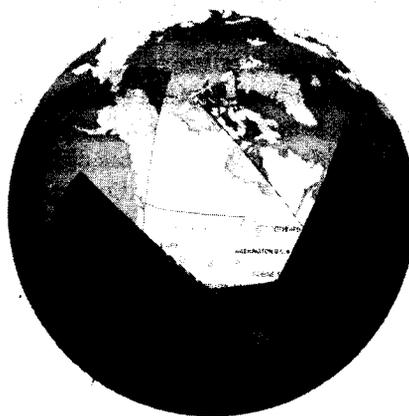
McGeorge Bundy, consejero de seguridad nacional de John Kennedy y Lyndon Johnson, ya jubilado sostenía que el único valor de las armas nucleares era la disuasión. "En el mundo real de líderes políticos reales —escribía Bundy en 1969— (...) una decisión que provocara que cayera una sola bomba de hidrógeno en un sola ciudad del país propio, se consideraría de antemano un error garrafal y catastrófico" (Bundy, 1969). Por la experiencia de McGeorge Bundy en el gobierno cuando menos, una sola bomba de hidrógeno, cuya explosión estuviera garantizada, es una forma suficiente de disuasión. Tomar a Bundy literalmente, aun por un momento, es comprender el enorme abismo de números que separa el mundo real de la política del mundo de los que organizan y manejan los arsenales nucleares de las superpotencias.

Desde hace varios años, no se han escatimado esfuerzos para calcular cuánto armamento nuclear sería suficiente. A mediados de los años 60, el Secretario de Defensa Robert McNamara definió disuasión como la existencia suficiente de armas para matar a la cuarta parte del pueblo ruso y destruir la mitad de la capacidad industrial soviética —aproximadamente el doble de las pérdidas soviéticas durante la Segunda Guerra Mundial. Según la propuesta de McNamara, cerca de 400 megatonnes serían suficientes para ese fin, duplicados por seguridad en cada uno de los tres soportes de la triada americana de misiles terrestres, de misiles de lanzamiento submarino, y de bombarderos. A fines de los años 60, Estados Unidos había conseguido esa capacidad superflua de 1200 megatonnes. Debía ser difícil, a partir de entonces, justificar, por motivos de necesidad de seguridad, más aumentos en nuestro arsenal nuclear. Sin embargo, nuestro arsenal siguió creciendo casi sin restricción. Lo mismo sucedió con el arsenal nuclear soviético. En ambos lados, sólo en armas estratégicas la cantidad de megatonnes asciende, hoy en día, a 9 466.4 (*Bull. Atom. Sci.*, 1988); la norma de McNamara se sobrepasa por el equivalente a cerca de 6 000 millones de toneladas de TNT, 2 000 veces la cantidad de los explosivos utilizados durante la Segunda Guerra Mundial.

A pesar de esta enorme capacidad de contragolpe, la verdad de las armas nucleares, contra la cual los liderazgos soviético y americano se topan constantemente, es su inutilidad absoluta y literal. No se pueden utilizar. En un mundo donde la destrucción mutua y asegurada prevalece —prevalece, en 1988, con niveles mucho más altos que los definidos por McNamara—, un ataque contra el enemigo es también un ataque contra sí mismo.

Para los nacionalistas, deslindar la soberanía nacional del poder para luchar en una guerra disminuye la soberanía nacional. Por el contrario, el poder para luchar en una guerra con armas nucleares es hoy, por sí mismo, la antítesis de la soberanía; la posibilidad de mantener

la soberanía nacional reside, hoy en día, precisamente en limitar y evitar la guerra. Bajo circunstancias tan paradójicas hemos reaccionado, por una parte buscando un avance técnico que resolviera en cierta forma el dilema —la Iniciativa de Defensa Estratégica es sólo el esfuerzo más reciente y costoso en ese sentido—; y por otra parte acumulando armas, como si superfluo mas superfluo pudiera sustituir de alguna manera la seguridad que ni siquiera las fuerzas militares logran garantizar. El hecho indiscutible es que estamos simplemente desnudos frente a nuestros enemigos, ahora y en el futuro remotamente previsible. Los soviéticos están en las mismas condiciones. La acumulación de armas no cambiará este hecho. Las armas mismas, sean ofensivas



o defensivas, como se les suele denominar, sólo incrementan nuestro peligro al aumentar el potencial de accidentes, errores de cálculo, y destrucción.

Como lo previó Niels Bohr de manera tan notable, estamos viviendo hoy en día, por lo tanto, cambios históricos que arrastran a las naciones-estado hacia dos direcciones a la vez: hacia un mundo de soberanías múltiples, algunas absolutas, otras traslapadas y colaboradoras, que toman en cuenta la realidad de las armas nucleares —un mundo potencialmente más pacífico, más abierto y menos peligrosamente armado; y, simultáneamente, hacia un mundo donde el conflicto implícito en la carrera armamentista se habrá materializado con la enorme destrucción, un mundo donde las naciones-estado también habrán hecho las paces con el nuevo conocimiento, pero a costa, potencialmente, de varios miles de millones de vidas humanas —un mundo de los muertos, un mundo fundamentalmente cerrado. Estoy seguro de que no han pasado por alto el que el sistema de naciones-estado tiene inevitablemente que modificarse en cualquiera de los dos sentidos: 1945 no fue sólo un abismo histórico-tecnológico y militar, sino un abismo histórico-político.

La república de la ciencia, al mismo tiempo, conti-

núa con su labor igualmente histórica de ampliar el conocimiento—de eliminar gradualmente los prejuicios, de abrir el mundo— en esa labor práctica puede encontrarse la solución potencial de este diálogo apocalíptico. Los que se ilusionaron con la utilidad de las armas nucleares para la guerra, han tenido que defender esa posición contra el reto de una lista cada vez más larga de los efectos de las siniestras armas colaterales con los conocidos efectos inmediatos y racionalizados, desde hace tiempo: la explosión, el calor y la radiación. Nos hemos dado cuenta recientemente de que la destrucción nuclear de la capa de ozono no sólo aumentaría el cáncer de piel sino que también suprimiría los sistemas de inmunidad de los sobrevivientes —un efecto parecido al del SIDA— en cuanto éstos se enfrentaran con el espectro completo de enfermedades epidémicas que la medicina y salud pública han controlado después de 200 años. El invierno nuclear —las enormes tormentas de fuego de un intercambio nuclear importante que transportarían hollín y esmog a la atmósfera superior, bloquearían el sol y enfriarían la superficie de la Tierra— ha alarmado lo suficiente a las fuerzas militares de ambos lados de la Cortina de Hierro como para exigir que, en la actualidad, se esté volviendo a examinar detalladamente la estrategia.

La ciencia sigue proporcionando un argumento específico contra la dependencia de tales armas para la seguridad: el conocimiento de los efectos colaterales, inesperados y sinérgicos, de las armas nucleares. Creo que, a largo plazo —esperando que haya un largo plazo—, lo más esperanzador es el paso constante y acelerado de los descubrimientos científicos y su reducción a la tecnología. La ciencia misma es una demostración continua del valor de la apertura y la colaboración pacífica. Ha sentado las bases para múltiples sistemas de comunicación mundial que están derribando cada vez más fronteras políticas. Uno tiende a pensar ante todo en el radio y la televisión, pero otros sistemas de comunicación ya están funcionando. Los contadores de radiaciones en Suecia, por ejemplo, alertaron a Europa del desastre en Chernobyl; aunque los soviéticos lo hubieran deseado, no hubieran podido mantener el secreto de ese accidente nuclear. Fue posible terminar con las pruebas atmosféricas de armas nucleares porque se pueden vigilar las muestras de rastreo de los productos de la fisión radiactiva a miles de millas de su fuente. Al incrementar la transparencia del mundo, la comunicación en todas sus formas descubre la fuerza y la debilidad de las distintas sociedades y sistemas políticos al común de los mortales quienes, en última instancia, votan por esos sistemas.

De manera más profunda, la ciencia, al contribuir en forma notoria a la materialización progresiva del mundo, elimina paulatinamente el prejuicio mortal que es la guerra, basada, como este prejuicio, en una constante desigualdad de recursos. Ese progreso continuará y aumentará con los años, mientras la ciencia vaya

logrando comprender la complejidad de la biología y aplicar ese conocimiento a la agricultura y la fabricación. Si sobrevivimos a esta era de reto nuclear, la aplicación del conocimiento científico augura vencer de manera gradual la desigualdad material por la cual la paz se ha ahogado desde sus raíces, durante la historia de la humanidad.

“Si eres un científico —dijo en el otoño de 1945 Robert Oppenheimer al público en Los Alamos— crees que es bueno averiguar cómo funciona el mundo; que es bueno averiguar qué son sus realidades; que es bueno entregar a la humanidad en general el mayor poder posible para controlar el mundo y tratarlo de acuerdo con sus ideas y sus valores... No se puede ser un científico a menos que creas que el conocimiento del mundo, y el poder que éste otorga, es algo con valor intrínseco para la humanidad, y que lo estás usando para ayudar a difundir el conocimiento; y que estés dispuesto a aceptar las consecuencias” (Smith, 1980).

Mucho antes de que Oppenheimer naciera, mucho antes de las armas nucleares, en el siglo en el cual tanto la ciencia como la nación-estado tomaron forma, Thomas Jefferson manifestó una convicción similar. “No conozco ningún depositario de los poderes esenciales de la sociedad más seguro que el pueblo mismo —escribió Jefferson—, y si no lo creemos lo bastante instruido para ejercer ese control con discreción sana, el remedio no es quitárselo sino instruir su discreción” (Bartlett, 1968). Los puntos de vista de Jefferson y Oppenheimer se combinan para hacer resaltar que el futuro que enfrentamos se moldeará con nuestra elección; que si el mundo que está ante nosotros ha de ser un mundo abierto o un mundo completamente cerrado por la violencia holocáustica, es, en última instancia, una elección humana, la suya y la mía, por la cual somos personalmente responsables. Siempre lo fuimos, siempre lo hemos de ser. *En*

#### CITAS

- Bartlett, John. “Letter to William Charles Jarvis, 28 September 1820”. *Familiar Quotations*, 14th ed.; Little Brown: 1968; p. 473b.
- Beschloss, Michael R. *Mayday*; Harper & Row: 1986.
- Betts, Richard K. *Nuclear Blackmail and Nuclear Balance*; The Brookings Institution: Washington, DC, 1987.
- Bohr, Niels. *Atomic Physics and Human Knowledge*; Wiley: 1958; p. 31.
- Bohr, Niels to FDR, 3 July 1944. J. Robert Oppenheimer Papers, Library of Congress, Box 21.
- Bracken, Paul. *The Command and Control of Nuclear Forces*; Yale University: 1983; p. 2.
- Bulletin of Atomic Science*, 1988, 44, 56.
- Bundy, McGeorge. “To Cap the Volcano”. *Foreign Affairs*: 1969, (October) 10.
- Nielson, J. Rud. “Memories of Niels Bohr”, *Physics Today* 1963 (June), 30.
- Oppenheimer Papers, “Three Lectures on Niels Bohr and His Times”, III (Los Alamos version), p. 9; Box 247.
- Rozenthal, S. “Open Letter to the United Nations”, *Niels Bohr*; Wiley: 1967; p. 341.
- Smith, Alice Kimball; Weiner, Charles, Eds. *Robert Oppenheimer: Letters and Recollections*; Harvard University: 1980; p. 315ss.

---

# ¿Golem liberado o robot programado? Sobre los efectos de un descubrimiento: La fisión nuclear

---

Horacio García Fernández\*

*El 2 de diciembre de 1942, Enrico Fermi logró controlar por primera vez la energía de las estrellas. Esto es poesía pero también una realidad histórica. La ciencia permite hacer la realidad, poesía y la poesía, realidad.*

## Fluoruro de Mercurio

Sí, la Ciencia alcanza, a cierto nivel, la categoría de realidad poética.

Misterio y belleza, son dos de las cualidades que los investigadores descubren más tarde o más temprano, en su quehacer científico.

Si lográramos transmitir a los jóvenes, primero la inquietud, la curiosidad y el interés, del gran Misterio del que todos formamos parte; después, la Belleza implícita en los mecanismos íntimos que lo explican y, finalmente, el gran placer estético que disfruta el afortunado que los desvela, tendríamos, sin lugar a dudas, muchos más investigadores y técnicos apasionados y comprometidos con la ciencia.

Y, por añadidura, tendríamos una población más enterada, más sensible a entender que la ciencia no es una amenaza para ella, sino una alternativa para elevar la calidad de vida.

En nuestros días lo que tenemos es una sociedad asustada de lo que cree que es ciencia, una sociedad que teme el desarrollo científico porque confunde la ciencia con la técnica, es decir con las consecuencias de aplicar

el conocimiento científico; y que finalmente confunde la técnica con la técnica destructiva.

El temor a la ciencia tiene una razón fundamental: la ignorancia de su conocimiento.

El gran público, ahora sí que aquí y en China, en todas partes, ignora los aspectos más elementales del conocimiento científico, pero ese gran público no es culpable, sino víctima de la ignorancia.

La gente sabe de la fisión nuclear a través de los medios de comunicación mucho más que de la escuela. Y los medios se ocupan de informar a bombo y platillo, del accidente de Chernobyl, de la tragedia de Bhopal, de la contaminación radiactiva, del caso del Challenger, pero nunca del conocimiento científico implicado en esos desastres.

¿Por qué dejamos que la noticia desinformadora sustituya a la necesidad de conocimiento? De eso, repito, no es culpable la población, sino los responsables de su educación e información, así como los responsables de los departamentos de comunicación social que confunden lo que es comunicación con lo que es manipulación.

Uno de los valores de la ciencia es el amor a la verdad, pero ese valor se pierde cuando se produce el conocimiento científico y éste pasa a ser objeto de interés de quien lo aplica, perdiendo el científico el control de las consecuencias de su descubrimiento.

El científico hace bastante con descubrir, con alcanzar un nuevo conocimiento. La responsabilidad de su aplicación debe cargarse a quien decide ésta: políticos, militares, técnicos e industriales.

En ocasiones, el conocimiento llega al científico aun

\* Facultad de Química, UNAM.

cuando éste no lo busque; se tropieza con él sin habérselo propuesto.

Captar el significado de un hecho que se observa y transmitirlo a otros tiene un efecto inmediato en términos de enriquecimiento cultural y ampliación de la mente humana. Aplicar ese conocimiento para dominar al prójimo de una u otra manera, para enriquecerse ilícitamente aun sometiéndonos a todos al riesgo de un desastre ecocida-genocida, es una decisión que no tiene nada que ver con la acción del científico y que asumen otras personas, las mismas que en nuestra época van haciendo de la ciencia su prisionera.

La fisión fue descubierta cuando se iba en pos de los elementos transuránidos, bombardeando uranio con neutrones.

En diciembre de 1938 dos químicos alemanes, Hahn y Strassman, encontraron, confundidos, elementos químicos de menor número atómico del que esperaban, en los productos del bombardeo y así lo notificaron. No interpretaron lo observado.

La interpretación la proporcionaron la ayudante de Hahn, Lise Meitner, de origen judío, quien huía de los nazis, y su sobrino Otto R. Frisch, colaborador de Bohr.

Cuando Lise Meitner y Frisch discutían en medio de un bosque nevado, sobre el sentido que podía darse a lo que observaron Hahn y Strassman, no estaban atentando contra la humanidad; estaban dando una muestra del valor de la inteligencia humana.

Que eso ocurriera cuando los vientos de guerra anunciaban una tempestad, es algo que escapaba a su control: no tenían manera de evitar ser personas de su tiempo.

La noticia del descubrimiento e interpretación de la fisión nuclear, con sus implicaciones de liberación de neutrones y de energía por defecto de masa, se difundió en enero de 1939, desde el Congreso de Físicos de Princeton, en los Estados Unidos.

La idea de utilizarla para elaborar una "Bomba de Uranio", como se le llamó, no es producto de una malevolencia especial de los físicos nucleares como Leo Szilard, Enrico Fermi, Frederick Joliot-Curie o Albert Einstein. Es la consecuencia de estar frente a la seguridad de una guerra contra quienes querían dominar el mundo; los nazis, y todos aquellos alemanes que, por interés personal o por cobardía, los dejaron cometer atrocidades mientras alcanzaban el poder, creyendo equivocadamente que aquéllas no eran asunto suyo.

Pero la idea es una cosa y su realización otra.

El gobierno estadounidense no se dejó convencer por la carta de un sabio, Albert Einstein, escrita antes de que los Estados Unidos entraran en guerra contra Japón, sino por la fuerza conjunta de los intereses de sus propios académicos universitarios como Arthur H. Compton, E.M. McMillan, Glenn T. Seaborg, James B. Conant, Karl T. Compton, Richard C. Tolman y Vannebar Bush; de los intereses de sus empresas como la General Electric, la Westinghouse Company, la Bell Telephone, que

adivinaban un nuevo mercado industrial tras el control de la energía nuclear, y finalmente los intereses del alto mando militar, siempre dispuesto a ser el más fuerte de los fuertes, mientras quizá confunden fuerza con simple fuerza bruta.

Así, irremediamente, el camino que llevaba a la bomba nuclear, nos llevó también a los reactores nucleares.

El famoso programa de la posguerra, "Átomos para la Paz" que impulsaran, convencidos de su valor, científicos tan generosos y humanistas como Glenn T. Seaborg, que se proponía el uso pacífico de la operación de los reactores para generar electricidad de una manera más limpia y económica que con el uso de combustibles fósiles; para producir isótopos radiactivos que brindaron y siguen brindando importantes servicios en la investigación, en el control de calidad, en el perfeccionamiento de los sistemas de producción agrícola, en el control de plagas, en el tratamiento de enfermedades. Ese programa "Átomos para la Paz" fue usado de cobertura para la menos noble tarea de producción, a destajo, de armamento nuclear. Si es verdad, como se dice, que cuatro de cada cinco científicos, en promedio, en el mundo, trabajan en investigaciones directa o indirectamente relacionadas con la producción de armas, también lo es que las 4/5 partes del total de reactores actualmente en funcionamiento producen directamente o en fase previa, material para armas nucleares.

Durante años esta situación pudo ser disimulada y mantenida más o menos en secreto.

El negocio de la producción y comercialización de armamento ha sido, por desgracia para la gran mayoría de los habitantes de este sufrido planeta, muy productivo para los muchos gobiernos poderosos en él implicados.

No hay país con un fuerte programa nuclear cuyo gobierno haya escapado a este doble juego. De ahí, de la conciencia sucia, surgen el encubrimiento y la mentira oficial relacionada con los muchos accidentes ocurridos en plantas nucleares en Alemania, Inglaterra, Francia, Estados Unidos y otros países.

Chernobyl fue una catástrofe cuyas dimensiones no se difunden ampliamente para evitar el pánico del público. Conservadoramente, Carlo Rubbia, premio Nobel de Física 1984, indica en su libro *El dilema nuclear* (Grijalbo, Crítica, España, 1989, p.43) que "se estima que estas dosis —las de radiación liberadas— provocarán 40 mil casos de cáncer en los próximos 70 años, con una incidencia diferente según la zona, pero que respecto a los 135 mil evacuados de las áreas más contaminadas, podría ser veinte o treinta veces más alta que la normal. En el resto del mundo, para el mismo periodo, habrá 20 mil tumores asociables a la nube radiactiva. Son estimaciones que no gozan del consenso general: optimistas según algunos, excesivos según otros".

La de Chernobyl fue la mayor catástrofe registrada hasta el momento, pero es una entre muchas. Se han producido demasiados accidentes en plantas nucleares.

Siempre, en todos los casos, se trata de esa "mínima

posibilidad matemática" tan improbable, según los defensores de los proyectos nucleares. Esa mínima posibilidad que cada vez que se ha presentado lo ha hecho de la mano del "error humano", de "la falta de responsabilidad" de éste o aquel encargado, muy pocas veces denunciado públicamente. Pero la mentira y los intentos de manipular la opinión pública han fracasado lamentablemente ante unos medios de comunicación como los que existen en la actualidad y sólo han servido para alimentar el prejuicio del público ante la Ciencia, que confunde a ésta con esa turbia manipulación del desastre de su transformación en tecnología mal controlada.

Y es precisamente esa mentira la que sirve para estimular los siguientes "errores humanos" y los nuevos intentos de manipulación de la opinión pública.

Como consecuencia, en lugar de una información veraz y adecuada que atienda la enorme necesidad de difundir el conocimiento científico entre la gran masa de población, lo que el público percibe es esa mentira y el desastre tal y como se lo muestran los medios de comunicación, tampoco muy expertos en la traducción del lenguaje científico.

Y como otra consecuencia, gran parte de los científicos se opone actualmente al desarrollo de los proyectos nucleares y en su caso no por ignorancia, sino por sentirse asqueados de tanto embuste y estar convencidos de que, a la vista de lo ocurrido, los riesgos de esos programas superan las ventajas que pueden ofrecer.

Aún así cabe preguntarse: ¿no bastaría oponerse al uso bélico de los reactores?

Es indudable que los recursos así ahorrados podrían invertirse en la búsqueda de soluciones a la necesidad de energía, de salud, de educación, de alimentación adecuada.

¿Podríamos utilizar un número mucho menor de reactores, más pequeños por añadidura, para obtener isótopos radiactivos útiles en el tratamiento médico, la investigación, el control de calidad, el mejoramiento de cultivos, determinación de fugas en oleoductos o gasoductos, y otros fines nobles?

En este caso sí tendríamos más beneficio que riesgos.

Como vemos, mal podemos plantearnos la duda acerca de la bondad o maldad de un conocimiento como el de la fisión. Lo que sí podemos hacer es discutir y analizar las ventajas y riesgos de su aplicación tecnológica.

Pero para poder discutir es necesario precisamente conocer el tema. Urge proceder a transmitir el conocimiento científico, desprovisto de su lenguaje críptico, traduciéndolo al lenguaje popular.

Ésta es una labor que no corresponde a la escuela, exclusivamente; corresponde a todos los científicos, educadores y comunicadores.

Sólo combatiendo la ignorancia, podremos eliminar el miedo a la ciencia.



#### Suscripciones

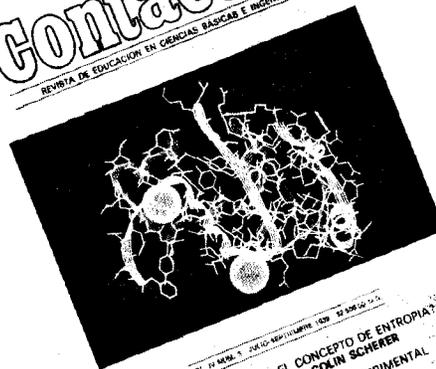
Humberto Arce

Coordinador editorial

Facultad de Ciencias, UNAM.

Tel. 550 5215 ext. 3924 y 550 5909

### CONTACTOS



REVISTA DE EDUCACIÓN EN CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA

LOS TAN MISTERIOSO EL CONCEPTO DE ENTROPÍA  
LEOPOLDO GARCÍA-COLÍN SCHERER

LA QUÍMICA, UNA CIENCIA EXPERIMENTAL  
ANIBAL BASCUIÁN B.

LA APROXIMACIÓN AL INFINITO  
M. C. ESCHER

LA QUINTA INTERACCIÓN: SU COSMOLOGÍA  
NEWTONIANA Y UN POSIBLE ORIGEN TEÓRICO  
JAIME KLAPP OCTAVIO OBREGÓN Y  
JORGE CERVANTES

ATA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

#### Suscripciones

Anual (4 números):

Nacional \$10 000; extranjero \$15.00 USD

Enviar cheque o giro postal a:

ContactoS, UAM-Iztapalapa, Av. Michoacán y Purísima, CP 09340, México, D.F.

Tel. 686 0322, ext. 205.

# Papel del científico frente a problemas globales del mundo actual

---

*María Ester Brandan\**

Este comentario sobre el artículo de DEBATE está centrado en dos aspectos de la presentación de Richard Rhodes. En primer lugar, se insiste sobre la necesidad de reducir el número de armas nucleares existentes y, en segundo, se toman los planteamientos de Rhodes sobre la participación de los científicos en defensa de la paz como referencia para sugerir posibles acciones frente a otros problemas ya existentes.

Rhodes llama la atención del lector hacia el estado de equilibrio conseguido entre la Unión Soviética y los Estados Unidos debido, entre otros factores, al convencimiento mutuo de que el uso de sus armas nucleares equivaldría al suicidio. Esto quiere decir que, al no poder usarse, los arsenales no sirven para nada.

Sin duda, en los últimos años hemos sido testigos de avances en la dirección del desarme. El tratado INF fue un pequeño paso en el sentido correcto, y el buen estado actual de las relaciones soviético-estadounidenses permite tener esperanzas de que otros pasos de mayor magnitud seguirán. Sin embargo, la posibilidad de que un error desencadene el holocausto sigue latente, pues el exagerado tamaño de los arsenales no se ha reducido apreciablemente. Un punto aparentemente olvidado en la reflexión de Rhodes es el riesgo que se origina en la posesión de armas nucleares por naciones no participantes en los tratados de limitación. Solamente un gran esfuerzo político y económico a nivel mundial, que consiga la eliminación total o la reducción de los arsenales a los valores mínimos consistentes con conceptos de seguridad nacional (unas 50 veces menos que las cantidades actuales) logrará eliminar el espectro de una destrucción accidental del planeta.

Se postula que la ciencia ha echado las bases para los múltiples sistemas de comunicación que ayudan a

romper las fronteras entre país y país. En estos días de mediados de noviembre de 1989, en que muros físicos y fronteras económicas y políticas parecieran estar cayendo aceleradamente en varios países, uno se pregunta en qué posición quedarán finalmente los hasta ahora irreconciliables polos de poder mundial. En estas circunstancias, en que Washington y Moscú declaran públicamente su amistad, las armas nucleares parecieran ser aún más inútiles que antes. Éste sería, sin duda, un momento muy apropiado para conseguir avances sólidos en cuanto a desarme.

---

**Si una sociedad no está  
suficientemente informada para  
poder ejercer sus más altos  
poderes, el remedio no es  
privarla de sus poderes,  
sino educarla.**

---

El análisis que se presenta del papel de la ciencia durante los años de armamentismo destaca una serie de factores propios de la actividad científica, dentro del contexto de una colaboración efectiva en pro de la paz. Sin embargo, pienso que un análisis muy similar podría plantearse en torno al papel del científico frente a otros problemas serios del mundo actual. En particular, me parece que la información ya publicada sobre los recientes cambios atmosféricos y su posible impacto sobre la vida terrestre debería ser motivo de preocupación seria para todos, y de interés especial para los científicos.

El desarrollo de nuestras sociedades en los años

---

\* Instituto de Física, UNAM, México, D.F., 04510

posteriores a la Revolución Industrial ha traído como consecuencia una gran producción de bióxido de carbono y otros gases que, incorporados a la atmósfera, podrían ya estar causando cambios en la temperatura global de nuestro planeta. Los modelos climáticos usados hasta la fecha, y que toman en cuenta los valores y tendencias actuales de la concentración de CO<sub>2</sub> (en el año 2040, tan solo dentro de 50 años, se llegaría al doble de la concentración previa a la Revolución Industrial) y de la capa de ozono, predicen aumentos en la temperatura promedio del planeta que cambiarían seriamente la situación climática que conocemos. Se puede señalar que los seis años más calurosos desde 1880, fecha en que se comienza a guardar información sistemática sobre temperaturas ambientales, han sido (en orden descendente) 1988, 1987, 1983, 1981, 1980 y 1986. Uno de los muchos efectos previstos como consecuencia de este calentamiento global es el derretimiento de aguas actualmente congeladas en las zonas polares, haciendo aumentar en unos 90 centímetros la altura del mar en las costas, lo que equivale a un avance de 90 metros del borde marino. De producirse este fenómeno, las ciudades costeras resultarían gravemente afectadas, las naciones isleñas podrían desaparecer, y quizá más grave, la fauna y flora de las zonas costeras no sobreviviría el cambio ambiental. Se estima que muchas especies biológicas podrían extinguirse en unos años, tiempo infinitamente corto dentro de la escala de la evolución.

El bióxido de carbono se origina principalmente en la combustión de las gasolinas que utilizan nuestros automóviles, en la generación de electricidad por la combustión del carbón y en la quema indiscriminada de bosques y selvas. Esto último contribuye dos veces al efecto, pues son los árboles los encargados naturales de convertir CO<sub>2</sub> en oxígeno. La capa de ozono disminuye debido a la emisión de los gases de clorofluorocarbonos, presentes en productos de uso doméstico e industrial. Los clorofluorocarbonos y el CO<sub>2</sub>, junto con otros gases como el metano, atrapan el calor generado por la radiación del sol aumentando la temperatura atmosférica en un llamado "efecto de invernadero".

Las causas del problema son demográficas y económicas, no químicas, y en el futuro se vislumbra un aumento siempre creciente de la emisión de estos gases. Según las Naciones Unidas, la economía mundial aumentará de 5 a 10 veces en los siguientes 50 años. Este crecimiento se concentrará en los países del Tercer Mundo que más lo necesitan, y estará fuertemente basado en el uso del carbón.

Este problema climático ha surgido del inevitable desarrollo tecnológico necesario para lograr el alto nivel de vida que la humanidad (o al menos parte de ella) goza hoy en día. Se trata de un fenómeno global, en que las fronteras no existen y en que las altas temperaturas afectarán tanto a los países desarrollados que han generado gran parte de los gases, como al Tercer Mundo que cada día aumenta su contribución a las emisiones en la



necesidad de mejorar las condiciones en que viven sus ciudadanos.

A la ciencia le toca un papel importante en la solución del problema, pues antes que nada se requiere comprender mejor los fenómenos climáticos y los factores que los determinan. Paralelamente, la aplicación tecnológica de los avances científicos debería conducir a un aprovechamiento más eficiente de la energía, que permita a las naciones más pobres seguir desarrollándose sin aumentar proporcionalmente su producción de CO<sub>2</sub>. Tal como en el caso militar, se requerirá un esfuerzo concertado en que se superen las divergencias nacionales (que en este caso son económicas más que políticas), en que las medidas que tome cada país deberán ser abiertas, de modo de contar con la confianza del resto, y en que los gobiernos comprendan que no hacer nada equivale a una especie de suicidio. Las acciones para evitar una catástrofe ecológica a nivel mundial deberán ser tomadas por los gobiernos, pero el ciudadano común debe estar informado y educado de modo de contar con su colaboración. Una parte importante de la labor de información pública debe correspondernos a los científicos.

Según Rhodes, las predicciones científicas de los efectos mundiales globales que seguirían a una guerra nuclear (el llamado Invierno Nuclear, la reducción de la capa de ozono, el daño al sistema inmunitario, y otros) han jugado un papel importante en la redefinición de las estrategias militares. Lo llama "la labor histórica de aumentar el conocimiento" que ha cumplido la ciencia durante estos años de armamentismo. ¿Será la ciencia capaz de ofrecer de manera igualmente convincente el conocimiento y los desarrollos tecnológicos necesarios para aminorar el problema climático y así ayudar a alejar esta nueva amenaza de nuestro futuro?

El pensamiento de Jefferson que cierra el artículo de Rhodes me parece también apropiado para concluir este comentario: si una sociedad no está suficientemente informada para poder ejercer sus más altos poderes, el remedio no es privarla de sus poderes, sino educarla. ▀

# Implicaciones políticas de la bomba atómica

## Comentarios a "The complementarity of the bomb"

Juan Lartigue G.\*

Es de extrañar que en una revista tradicionalmente orientada a la educación química se haya publicado un artículo como el que se comenta, que no contenga conceptos relacionados con la química y, en cambio, se trate de un artículo eminentemente político. Esto es inusual en un medio de difusión de uno de los sectores académicos menos "contaminados" por la política: el químico. Sin embargo, resulta conveniente que, eventualmente, dicho sector perciba las implicaciones que su actividad puede llegar a tener en otras esferas.

El trabajo está dedicado, en su mayor parte, a elogiar la clarividencia de Niels Bohr al predecir, desde hace 45 años, la influencia que el desarrollo de las armas nucleares tendría en el equilibrio político mundial. Para ello, Rhodes recurre a 14 citas bibliográficas, siete de las cuales se refieren directamente a Bohr, aunque las demás también son fundamentales para la tesis que el autor expone: que la bomba nuclear no sólo ha contribuido a mantener la paz mundial mediante el equilibrio del terror, sino que también ha provocado cambios importantes en el concepto de soberanía de los estados y ha obligado a un mejor conocimiento mutuo de sus condiciones de vida. Analicemos su razonamiento.

Inicialmente se creyó que la sola acumulación de armas nucleares y de los medios necesarios para su lanzamiento, por parte de un cierto país, disuadirían a cualquier otro de intentar atacar al primero; pero cuando otros países lograron una acumulación equivalente se inició lo que se ha conocido como el equilibrio del terror. Una siguiente etapa de la carrera armamentista consistió en pretender alcanzar una capacidad de armamento nuclear que fuera notoriamente superior a la de los

contrarios, hasta que se cayó en la cuenta de que esto carecía de sentido, pues bastaría contar con una sola bomba de hidrógeno, bien dirigida, para lograr disuadir a cualquier posible agresor. Inclusive, la acumulación generó un efecto opuesto al que se buscaba, pues aumentaban las probabilidades de accidentes, posibles errores de cálculo y de destrucción; es decir, aumentaba la inseguridad.

Por lo pronto, se logró eliminar la posibilidad de una guerra total entre las potencias, ya que ésta implicaría el fin no sólo del agredido sino del agresor, dadas la capacidad de respuesta, la efectividad del armamento nuclear y la ineficiencia de los sistemas de defensa tradicionales.\*\* Por otra parte, aunque la observación de un país por otro y la verificación de su potencial bélico (al principio en forma oculta y luego en forma oficial) ha llevado a flexibilizar el concepto de soberanía de los Estados, ha tenido la ventaja de permitir un mejor conocimiento mutuo. Por último, sostiene Rhodes, anteriormente se consideraba a la capacidad de iniciar una guerra, ante ciertas situaciones, como un derecho soberano de cada Estado; pero ahora, ante la respuesta esperada, el ejercicio de tal derecho por parte de las potencias nucleares afectaría la soberanía del propio Estado iniciador; es decir, el potencial bélico-nuclear de un Estado actúa en contra de su soberanía. Hasta aquí la tesis de Rhodes.

Aunque los efectos complementarios de la existencia de los arsenales nucleares pudieran parecer benéficos para la paz y la cooperación, según la tesis antes expues-

\* Facultad de Química, UNAM, Ciudad Universitaria, México, D.F., 04510.

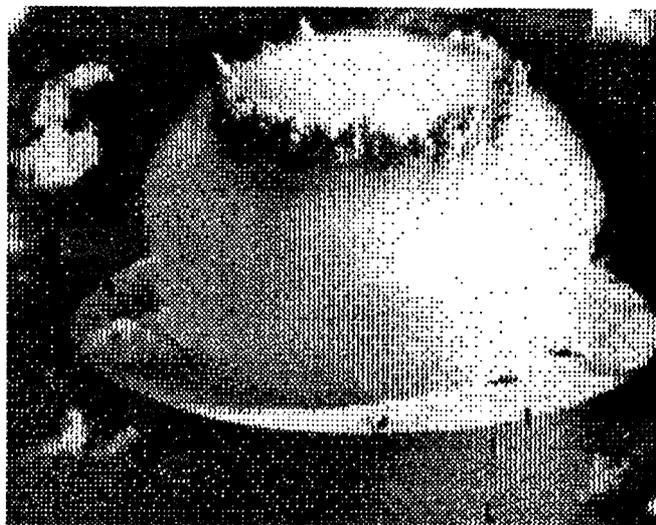
\*\* No fue sino hasta principios de los 80 que el inventor de la bomba de hidrógeno, E. Teller, propuso al gobierno de los Estados Unidos la creación de la Iniciativa de Defensa Estratégica (Guerra de las Galaxias) la cual, aparentemente, ha sido abandonada ante la reciente terminación de la Guerra Fría.

ta, no deja de provocar cierta inquietud dicha existencia tanto por su potencial destructivo intrínseco como por algunas implicaciones adicionales. Veamos.

a) *Potencial destructivo intrínseco.* Según el propio Rhodes, a mediados de los años 60 se suponía que una capacidad de 400 megatones\* sería suficiente para aniquilar a la cuarta parte de la población y a la mitad de la industria soviéticas. Sin embargo, para fines de esa década, los Estados Unidos tenían ya una capacidad de mil 200 megatones repartidos en tres tipos de proyectiles: tierra-tierra, mar-tierra y aire-tierra. Pero, para 1986, la URSS tenía tres veces más aviones de alcance intermedio, con capacidad nuclear, que los Estados Unidos (CLEE, 1986). Actualmente el arsenal nuclear mundial se estima en casi 10 mil megatones, equivalentes a medio millón de bombas como la de Hiroshima, insuficientes para aniquilar 10 veces a la humanidad! Ante tales posibilidades, desencadenables por una eventual enajenación, error o sabotaje, palidecen los efectos benéficos complementarios planteados por Rhodes y surgen, como las únicas vías para una verdadera paz (paz "pacífica" en vez de paz "belicosa"), la distensión, la cooperación y el desarme nuclear total.

b) *Implicaciones adicionales.* Aunque afecta a todo el planeta, la problemática que plantea el artículo comentado está determinada únicamente por las potencias nucleares. Hay, sin embargo, otro tipo de problemas generados por el carácter expansivo de la industria nuclear-militar de las grandes potencias en los que sí podrían actuar, aunque fuera eventualmente, los países menos desarrollados a los cuales afectan (ejemplos: la extracción de las reservas uraníferas de Checoslovaquia por parte de la URSS, de 1950 a 1980; el bombardeo de dos reactores nucleares en el conflicto del Medio Oriente; la dependencia mexicana del exterior en el abastecimiento de combustible nuclear, a partir de 1988; entre otros). Algunos de tales problemas ya han sido discutidos en trabajos anteriores del autor (Lartigue, 1986, 1989) por lo que aquí sólo se hará breve referencia a uno de ellos: el uso pacífico de los explosivos nucleares.

En 1957, cuando los riesgos de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear aún no se apreciaban en toda su magnitud (Three Mile Island, Chernobyl), se inauguró en los Estados Unidos el proyecto Plowshare cuyo objetivo era el de investigar las aplicaciones pacíficas de los explosivos nucleares. La primera explosión correspondiente propiamente al proyecto ocurrió en 1961 con una bomba de 3 kilotones. Un año más tarde se pasó a otra etapa con una explosión subterránea de 100 kilotones, con la que se logró producir un cráter de 400 m de diámetro y 100 m de profundidad. Desde luego, en este proyecto el ejército aprovechó también los resultados de los experimentos realizados en el subsuelo y en la atmósfera. Los informes, publicados hasta 1967 (Ger-



---

## Los efectos benéficos complementarios a la existencia de la bomba nuclear son muy dudosos.

---

ber *et al.*, 1967), suponían que la radiactividad liberada en explosiones programadas era perfectamente controlable.

Ante el éxito de los primeros experimentos y el optimismo respecto a la radioprotección, se plantearon varias aplicaciones posibles: la explotación de yacimientos minerales y de hidrocarburos, la formación de nuevos puertos marinos y la construcción de un nuevo canal (al nivel del mar, no con esclusas como el de Panamá) en el Istmo Centroamericano. Para este último caso se propusieron cinco sitios: uno en Colombia, dos en Panamá, uno en Nicaragua y otro en México (Tehuantepec). Sin embargo, a la fecha no se tiene noticia de que alguna de las aplicaciones planteadas haya sido realizada; probablemente ello se debe, más que a razones económicas o de soberanía, al temor que sigue existiendo hacia las radiaciones.

Como puede verse, tanto el potencial destructivo intrínseco como las implicaciones adicionales hacen que los efectos benéficos complementarios a la existencia de la bomba nuclear sean muy dudosos. *EL*

### REFERENCIAS

- CLEE, *La postura militar de EU para 1987*, CLEE-DOC-006, 1986.  
Gerber K., Hamburger R. y Seabrook E., *Plowshare Report*, USAEC, 1967.  
Lartigue J., "Balance global de energía primaria", *Cuaderno sobre Prospectiva Energética*, núm. 92, El Colegio de México, 1986.  
Lartigue, J., "Etapas tecnológicas e implicaciones estratégicas de la energía nuclear", *Diálogo*, enero, 1989.

---

\* 1 megatón =  $10^6$  toneladas de TNT.

# A cincuenta años de la fisión nuclear

*Carlos Ríos Martínez\**

En el desarrollo de la historia de la humanidad, las grandes revoluciones (sociales, económicas, políticas y científicas) han marcado rumbo y condiciones de partida para el futuro inmediato.

Similarmente, el descubrimiento de la fisión nuclear (Hahn y Strassmann, 1939) dio origen a lo que actualmente se conoce como Era Atómica. Pero al igual que muchos otros descubrimientos, su trascendencia radicó en el horizonte que puso al descubierto: la liberación de las enormes cantidades de energía contenidas en el núcleo atómico.

El horizonte recién descubierto fue surcado con una gran vehemencia por quienes disponían de los medios adecuados para realizar el viaje, y aunque para muchos la utilización del descubrimiento a gran escala y con fines bélicos constituía una empresa por encima de las posibilidades tecnológicas disponibles y previsibles para aquel entonces (Rhodes, 1989), la febrilidad imbuida por una economía de guerra permitió la cristalización de la primera etapa, la obtención de la fisión en cadena auto-sostenida, en la que posteriormente fue conocida como pila atómica (Segré, 1983).

Propiamente dicho, el dispositivo utilizado debió haberse llamado pila nuclear, pues el fenómeno ocurre en dicha escala, generando severas modificaciones en otros niveles: atómico, molecular, etcétera, debido a que los llamados productos de fisión (núcleos más ligeros que el fisionado) aparecen con una gran energía cinética y altamente ionizados. La relación protón-neutrón de estas nuevas especies les hace completamente inestables, de tal manera que tendrán la tendencia de transformar algunos de sus neutrones en protones mediante decaimientos (emisión de electrones), o bien de emitir los neutrones en exceso, para llegar a la zona de estabilidad (Evans, 1972). Hasta la fecha, el principal problema de la energía nucleoelectrónica radica en la radiactividad de los productos de fisión en los que el combustible nuclear se divide.

Aunque no reconocida como tal, la fisión nuclear había sido producida artificialmente en 1934, durante la búsqueda de elementos transuránicos mediante la irradiación del uranio con neutrones provenientes de la reacción alfa-neutrón (Segré, 1989). Los productos de fisión no fueron detectados en el experimento original, pero hubo algunos grupos que al detectarlos (pulsos de gran altura, provenientes de una cámara de ionización) y debido a que no tenían una explicación satisfactoria de su presencia, cometieron el error de considerarlos señales espurias del detector utilizado.

Toda vez que fue demostrada la utilidad de la reacción en la producción de energía, y dadas las condiciones imperantes en aquel entonces, la búsqueda de la aplicación bélica del descubrimiento se convirtió en una prioridad; esfuerzo en que estuvieron involucrados la gran mayoría de los científicos y técnicos del primer nivel, casi todos ellos agrupados en torno al "Proyecto Manhattan".

La premura de resultar vencedor en el conflicto aceleró la construcción y detonación del primer artefacto nuclear y posteriormente las infortunadamente célebres explosiones sobre Hiroshima y Nagasaki.

La transmutación de la ciencia en tecnología permitió salvaguardar la cultura de Occidente y el predominio de su lógica evolutiva y de dominio sobre la naturaleza.

La ironía de la historia sorprendió a uno de los descubridores de la fisión nuclear como prisionero de guerra en un campo militar inglés cerca de Godmanchester, cuando se enteró de la explosión sobre Hiroshima. Junto a él se encontraban algunos de los miembros más jóvenes de la comunidad del uranio, quienes se cuestionaron respecto a la responsabilidad de los científicos involucrados en la experiencia reciente (Heisenberg, 1988).

Resultado de sus múltiples discusiones, vislumbraron un rayo de esperanza fincada en la posibilidad de que los avances científico-tecnológicos alcanzados pudieran propiciar el establecimiento de un orden universal capaz de garantizar el desarrollo armónico de la humanidad.

\* Facultad de Ciencias Químicas y Centro Regional de Estudios Nucleares, Universidad Autónoma de Zacatecas.

Lo romántico de esta idea es quizás el error a que conduce el considerar que los poderes económico y tecnológico carecen de su propia lógica, pues son éstos los que en última instancia determinan el futuro de las formaciones sociales; que debido a la urgencia de generar los satisfactores que su reproducción y desarrollo requieren, anteponen su obtención a la de una existencia armónica entre sí mismas y con la naturaleza.

Luego de terminado el conflicto, cada aliado localizó a su enemigo y dio comienzo la Guerra Fría, transformando la economía de guerra en economía de defensa y de administración de microconflictos regionales, utilizados generalmente para resguardar y aumentar las esferas de influencia.

No conformes con el poder de destrucción de las primeras bombas atómicas y gracias al conocimiento de la existencia de la fusión nuclear —que genera en el Sol la energía que ha mantenido la vida en nuestro planeta— se utilizó a las atómicas como detonadoras de las bombas H, las que cambiaron la escala de los *megas* a los *gigas*.

Fue cuestión de tiempo la multiplicación del poder devastador de dichos artefactos y la acumulación de los arsenales atómicos; compuestos de bombas atómicas, bombas H, bombas de neutrones, etcétera, que aunque no estuvieran destinados a su utilización inmediata, pretendían y pretenden garantizar la paridad del poderío bélico entre las potencias.

La "conquista del espacio" constituyó otra prioridad de la carrera armamentista, que alimentada por el desarrollo tecnológico alcanzado por la construcción de bombas, vino a despertar la logística intercontinental y a potenciar la fatídica posibilidad de la detonación simultánea de varias veces la energía requerida para pulverizar el planeta.

La crisis del 62 en Cuba mostró el camino a seguir, pues la obtención de un mejor arsenal atómico pasó a ser la mejor forma de disuadir a cualquiera de una agresión.

Incluida dentro del esquema trazado para la construcción de los satélites que barrerían las zonas de influencia, se produjo una exclusividad en torno a las áreas estratégicas implicadas en la carrera armamentista, por lo que para los Estados Unidos la promoción y firma del Tratado de Tlatelolco le aseguró el liderazgo continental.

Para nuestro país, la solución del conflicto significó quedar dentro del Mundo Libre, subsección Tercer Mundo, lo que se tradujo en una economía dependiente y subdesarrollada, de tal forma que las pautas de su evolución y crecimiento fueron marcadas por quien proveía los recursos necesarios para su sostenimiento y, en forma local, de quienes los administraban.

Dentro de las actividades científico-tecnológicas reservadas para las grandes potencias, se permitió la formación de algunos especialistas provenientes de los más apartados rincones del Tercer Mundo, aunque éstos no pudieron proseguir su labor en su país de origen, debido

principalmente a la carencia de medios o a la inexistente infraestructura requerida.

Bajo este panorama, México se incorporó demasiado tarde a la Era Atómica teniendo como un indicador claro a la planta nucleoelectrica de Laguna Verde, cuyo desfasamiento tecnológico es superior a dos décadas, y no se diga a la era espacial, pues hasta fechas recientes orbitaron por vez primera un astronauta mexicano y los satélites Morelos.

Sin embargo, aunque ha habido esfuerzos considerables por desarrollar las ciencias nucleares en nuestro país, la gran limitante sigue siendo la dependencia tecnológica en cuanto a la fabricación de dispositivos y equipos utilizados en estas disciplinas. Lo anterior ha conducido a la orientación de la investigación nuclear hacia terrenos no-energéticos, en donde los requerimientos de infraestructura no son tan severos, habiéndose logrado resultados importantes y de gran trascendencia.

---

## Para desarrollar las ciencias nucleares en nuestro país, la gran limitante es la dependencia tecnológica.

---

En este sentido, es imposible que en nuestro país se genere una industria nucleoelectrica autónoma y auto-suficiente, por lo que es imprescindible elaborar una estrategia adecuada de transferencia tecnológica y científica que posibilite su desarrollo, considerando a la tecnología de fisión como el puente necesario hacia la tecnología de fusión. De esta forma, la plataforma científica existente en el país tendrá necesariamente que ser involucrada en la formulación y desarrollo de dicha estrategia, que incluya dentro de sus prioridades la formación de los recursos humanos necesarios para tal empresa. ✍

### REFERENCIAS

- Hahn, O. y Strassmann, F. *Naturwissenschaften*, 27, 11 (1939).  
Rhodes, R., *J. Chem. Educ.*, 66(5), 376-379 (1989).  
Segré, E., *De los rayos X a los Quarks*, Folios Ediciones, México, 1983.  
Evans, R. D., *The Atomic Nucleus*, McGraw-Hill, 1972.  
Segré, E. *Physics Today*, Julio de 1989.  
Heisenberg, W., *Diálogos sobre la Física Atómica*, Colección Filosófica No. 7, U.A.P., México 1988.

# Contra el desastre, sólo la adecuada organización política mundial

---

*Francisco Sepúlveda Martínez\**

En épocas anteriores, la ciencia fue capaz de proporcionar frecuentemente medios de protección contra las nuevas armas que ella misma había hecho posibles; pero hasta ahora no ha podido inventar una protección eficaz y práctica contra el poder de la destrucción de las armas nucleares. Esta protección, como señaló con mucha antelación Niels Bohr, y a la que alude tan atinadamente el artículo comentado, sólo puede surgir de la adecuada organización política del mundo.

Sin lugar a dudas, el 6 de agosto de 1945 es una de las fechas más trascendentales para la historia de la humanidad. Ese día explotó la primera bomba atómica sobre la ciudad de Hiroshima, marcando así una división contundente en la historia mundial. Con este hecho inverosímil se inició avasalladoramente la Era Atómica, con todas sus terribles e impredecibles consecuencias. A partir de esta fecha, se puede decir que el mundo ha estado oscilando sobre el filo de la navaja entre la guerra y la paz, pero también como predijo Bohr, quizás ha sido esta poderosa arma la que ha evitado una tercera guerra mundial, que de otra forma ya hubiese ocurrido con consecuencias apocalípticas.

Se estima que a partir de 1945 se han librado en los diversos frentes cerca de 150 guerras y conflictos convencionales que han ocasionado, conservadoramente, unos 20 millones de víctimas. Pero si, desafortunadamente, hubiera habido una tercera guerra mundial, es seguro que el número de muertos hubiera sido mucho mayor y, sin lugar a dudas, los horrores, miserias y calamidades que la guerra nuclear hubiera acarreado a

---

**Debemos adoptar, al menos, la  
postura de un grupo de  
ciudadanos conscientes del  
grave peligro que amenaza la  
seguridad de nuestro país.**

---

la humanidad consecuentemente hubieran sido catastróficos.

Aún antes de 1945, el impacto a largo plazo del uso de las armas nucleares en la guerra era ya un tema que algunos científicos atómicos habían estado tocando. El gran físico danés Niels Bohr fue uno de los primeros en predecir las terribles consecuencias que traería el uso bélico de la bomba atómica, pero en ese tiempo en que urgía ganar la guerra no fue escuchado; unos años antes el brillante físico Albert Einstein había enviado una carta al presidente Roosevelt. Esta carta resultó supuestamente determinante para que el gobierno estadounidense se decidiera a invertir enormes recursos económicos para poner en marcha el Proyecto Manhattan, después de que un comité científico lo calificó como "practicable e idóneo" para conducir a resultados decisivos en la guerra.

Tras el lanzamiento y explosión de las primeras bombas atómicas en Hiroshima y Nagasaki, los estrategas de diversos países se sintieron inmediatamente preocupados por saber si se podría utilizar ese nuevo tipo de armamento en el marco de la guerra clásica. Rápidamente, desde un punto de vista técnico, llegaron al

\* Departamento de Ingeniería Nuclear,  
Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN.

convencimiento de que ello era absolutamente impensable. La bomba atómica era un tipo de armamento que no podía ser considerado como uno más en el ámbito del arsenal disponible. Se trataba de un tipo de arma que obligaba a pensar la guerra de un modo diferente a como se había hecho hasta entonces. Los primeros instantes de una guerra con bombas atómicas eran previsible, pero no ocurría lo mismo con las fases posteriores. Ningún estado mayor ni ningún gobierno eran capaces de imaginarlas. Pasaron algunos años y se superaron varias teorías hasta llegar a las conclusiones actuales, es decir, hasta aceptar la teoría de que la bomba atómica solamente sirve para crear un determinado equilibrio que, precisamente, evite la conflagración bélica.

Esencialmente, esta estrategia —llamada de “disuasión nuclear”— consiste en que se quieren evitar ciertas acciones políticas o militares de los adversarios, *amenazándolos* con usar las armas nucleares, en lugar de realmente usarlas. Sin embargo, el mantener esta estrategia de disuasión, ha sido más un tema de psicología política que de tecnología nuclear. Cualquier nación vivirá disuadida si está convencida de que el castigo nuclear que recibirá será más severo que el posible logro de algún objetivo militar particular. Por lo tanto, las propiedades físicas reales de las armas nucleares sólo entran en la ecuación de la disuasión conforme estas propiedades físicas afecten lo que piensen los contrincantes. No obstante, cuando falle la disuasión, el tema cambiará radicalmente. Entonces no será lo que se piense acerca de las armas nucleares lo que cuente, sino la realidad y crudeza de los hechos físicos de sus propiedades.

En lo que respecta a los efectos radiológicos resultantes de una supuesta guerra nuclear, se estima por ejemplo, que en el caso de un ataque mutuo entre los Estados Unidos y la Unión Soviética, debido tan sólo a los efectos directos e inmediatos de las explosiones nucleares, la mayor parte de la población urbana de los países beligerantes sería aniquilada, y sus áreas rurales sufrirían al recibir la llamada “precipitación radiactiva”. Los detalles de los efectos radiológicos a sus pobladores dependerían de las condiciones meteorológicas prevalentes y de las características del ataque. No obstante, se estima que la mitad de la población rural podría morir debido a la precipitación radiactiva.

Además, y para nosotros el efecto más importante, las vidas de muchos millones de personas que viven en países vecinos a las superpotencias en conflicto, como es el caso de nuestro país, estarían en peligro, debido a la precipitación radiactiva local. Ésta, acumulada a largo plazo, dañaría aún a aquellos que viven en países lejanos, con mayor razón al nuestro. Se agregan a estas calamidades los efectos físicos globales, planteados recientemente y mencionados en el artículo discutido, como son: la probable destrucción nuclear de la capa de ozono en la atmósfera y el drástico cambio de clima, conocido como el “invierno nuclear”, los cuales por su misma

naturaleza son aterradores.

Es claro también que, actualmente y en el futuro predecible, un intercambio nuclear entre las superpotencias resultaría en la destrucción de los estados beligerantes, sin tomar en cuenta quién iniciara las hostilidades. En pocas palabras, no habría vencedores ni vencidos, todos seríamos víctimas.

Es muy difícil hacer cálculos precisos, pero se estima, por ejemplo, que un intercambio nuclear completo entre los Estados Unidos y la Unión Soviética resultaría en el orden de los 10 millones de víctimas de cáncer y leucemia en países como el nuestro y aún los situados bastante lejos de los dos principales protagonistas. Además, habría que agregar a este escenario los problemas genéticos, los cuales son aún más difíciles de calcular, y que sin duda afectarían a muchos otros millones de personas, no sólo de esta generación, sino durante los próximos siglos. Probablemente sobreviviría alguna parte de la civilización, pero se asegura que las posibilidades para los habitantes del Hemisferio Norte serían casi nulas. Y desde luego, ni qué decir de los efectos sociales, políticos y económicos que esta situación acarrearía a los sobrevivientes.

Debido a la situación imperante, en la cual —querámoslo o no— tenemos que coexistir con la carrera armamentista que libran las superpotencias —la que no podemos evitar, debido a la gran cantidad de armas nucleares desplegadas—, existen posibilidades reales de que ocurra un accidente en el cual éstas se disparen involuntariamente, o bien de que un error de cálculo en los sistemas de detección desencadene la destrucción nuclear. Nos debemos encontrar, al menos, en la postura de un grupo de ciudadanos conscientes del grave peligro que amenaza la seguridad de nuestro país.

Debemos por tanto, como el autor del artículo propone, luchar denodadamente para que cese esta carrera armamentista, propugnando porque se adopte, como se sugiere en el mismo, una política de apertura para la cooperación pacífica entre las naciones, y no descartando como posible medio de control de armamentos la llamada “verificación por inspecciones”, es decir, que lo establecido en los tratados sea congruente con la reducción gradual de los armamentos nucleares.

Afortunadamente, en la práctica este movimiento pacifista se inició con la limitación de los ensayos nucleares en la atmósfera y ha continuado, para nuestro gusto, a pasos lentos pero seguros por el anhelado camino de la paz. Todos los esfuerzos son encomiables si se trata de lograr la deseada cancelación de la opción de guerra nuclear en nuestro futuro.

Finalmente, todos los seres humanos debemos oponernos decididamente a la solución bélica como medio para dirimir diferencias entre las naciones y, en especial, nosotros como científicos mexicanos debemos aceptar la responsabilidad que nos corresponde y luchar con todos los medios a nuestro alcance para evitar el holocausto nuclear. 

# El terror de la bomba atómica

Jorge Flores Valdés\*

Hace ya cerca de dos décadas, en ocasión del Congreso Solvay que tuvo lugar en Bruselas en 1971, asistí a una cena en el elegantísimo *chateau* que pertenecía a Ernest Solvay, sucesor del rey de la sosa cáustica. Allí fui testigo de una auténtica pelea verbal entre Eugene Wigner, Premio Nobel de Física 1963, y algunos otros de los invitados, quienes lo increpaban por lo que ellos consideraban la posición política profundamente reaccionaria que asumía el gran físico teórico. Famoso por sus contribuciones a la teoría de la estructura nuclear, al desarrollo de la teoría de los grupos y sus aplicaciones, por la introducción de los supermultipletes y por tantos otros avances en la física teórica, el físico húngaro-estadounidense era también conocido por ser el gran promotor de los refugios antiatómicos, los cuales a finales de los sesenta se consideraban como uno de tantos elementos de la Guerra Fría.

De otras agrias discusiones entre Wigner y sus colegas fui testigo en los años subsecuentes. Una de ellas, en particular, me apenó muchísimo porque tuvo lugar en mi casa, durante una cena que mi mujer y yo ofrecimos en honor del mismo Wigner, quien entonces ocupaba la Cátedra E.A. Moshinsky del Instituto de Física. El tema era siempre el mismo: si el desarrollo de los arsenales nucleares de las dos grandes potencias conducía a la paz o a la gran conflagración. Wigner defendía con pasión la primera posición, como también parece hacerlo Richard Rhodes, autor del artículo *The Complementary of the Bomb*, que hoy comento. En opinión de este autor, "Desde 1945 se ha luchado en muchas guerras, y éstas han causado un número de víctimas bastante brutal, a pesar de que todas han estado limitadas" ... "Un control histórico de este tipo es asombroso en el caso de naciones-estado tan contenciosas como Estados Unidos y la Unión Soviética".... Éstas y otras afirmaciones por el estilo habrían sido consideradas nefastas por las fuerzas pro-



gresistas en aquellas épocas del proyecto JASON y otras empresas semejantes.

La posición de Rhodes, sin embargo, es más suave que la de sus antecesores en la Guerra Fría. Sigue creyendo que "la ciencia misma es una demostración activa del valor de la apertura y de la cooperación pacífica". En mi opinión, como lo muestran los recientes acontecimientos en la Europa del Este, la desaparición factible de la Guerra Fría no se debe al miedo de los arsenales nucleares, ni al avance de la ciencia, ni a la mayor transparencia entre las naciones, ni a mejores sistemas de comunicación entre los países, sino a una redistribución geoeconómica del mundo, cuya mejor evidencia es la aparición de los seis tigres del Pacífico. Hoy como hace veinte años, sigo creyendo que el espectro de la guerra nuclear era un precio demasiado grande, una terrible espada de Damocles, que la humanidad tenía que soportar sin más remedio bajo el yugo de dos potencias intrínsecamente injustas. Con seguridad, Rhodes no opinaría lo mismo...

\* Centro Universitario de Comunicación de la Ciencia, UNAM, México, D.F. 04510.



## HEXAQUIMIA, S.A. de C.V.

OFICINA: Manuel Castro Padilla No. 13-201  
01020 México, D.F.  
Tels: 593 5900 y 593 5566  
Telex: 1777221 HEXAME Fax: 593 6123

PLANTA: Km 20.7 Carr. México-Texcoco  
Los Reyes La Paz, Edo. México  
Tels: 855 0478 y 855 1295

REPRESENTANTE EXCLUSIVO DE: AKZO CHEMICALS, B.V. AKZO CHEMICALS, INC.  
HOLANDA U.S.A.

### FABRICANTE DE ESPECIALIDADES QUIMICAS DE ALTA TECNOLOGIA

#### PARA LAS INDUSTRIAS

##### De Plásticos y Polimerización

Peróxidos Orgánicos  
Percarbonatos  
Azo Compuestos  
Pigmentos Dispersados para Poliéster  
Película Separadora  
Persulfato de Potasio y Amonio

##### De Pinturas y Tintas

Octoatos metálicos  
Naftenatos y linoleatos  
Agentes antinata  
Biocidas

##### De Resinas

Acido Fumárico  
Iniciadores de Polimerización  
Catalizadores de Cobalto

##### De Aditivos para Alimentos

Acido Fumárico Soluble  
Blanqueadores de Harina

CONTROL ESTADISTICO DE CALIDAD - SERVICIO TECNICO