

IMPORTANCIA DE LA CIENCIA "PEQUEÑA"

*Por G. Brent Darlymple, U.S. Geological Survey
Menlo Park, Calif.
(Traducción de Mara Arroyo).*

Sin la pequeña ciencia, el progreso de la Ciencia y consecuentemente de la tecnología, de la industria, el bienestar y la civilización misma, se vería considerablemente reducido.

Mi tema es la "pequeña ciencia". Pequeña no por sus dimensiones físicas o su importancia, sino porque es llevada a cabo individualmente por personas capacitadas o bien por pequeños equipos de científicos cuya única motivación es su curiosidad acerca del funcionamiento de la naturaleza. Me estoy refiriendo a la Ciencia no entorpecida por las metas, la orientación y la guía de administradores, de instituciones financieras o de políticos. Se trata de la ciencia que se hace sin tener en cuenta su valor práctico para la sociedad o para la humanidad.

¿Que tan importante es este tipo de ciencia?. Creo que es precisamente ésta la que ha permitido la revolución tecnológica del siglo 20. De ninguna manera se trata de una idea nueva. Hace 45 años fue expresada por Vannevar Bush, quien escribió: "los nuevos productos y procesos están fundamentados en nuevos principios y concepciones que, a su vez, han sido desarrollados por la investigación en el más puro reino de la ciencia". Sin embargo, creo también que la contribución de la ciencia pequeña para la riqueza y bienestar de la humanidad no está bien reconocido actualmente, ni por la población en general, ni por quienes proveen los fondos para el desarrollo de la ciencia.

Resulta obvio para quien haya visto los presupuestos para la investigación científica durante las dos últimas décadas, que la ciencia pequeña está siendo cada vez más relegada en favor de la ciencia grande y de la ciencia orientada hacia algún problema específico, nacional o internacional. A la larga este abandono se revertirá en detrimento de la sociedad por lo que esta tendencia debe ser invertida.

Actualmente tal punto de vista puede parecer auto-

alucinatorio, increíblemente ingenuo, desmedidamente egoísta, o todo esto junto. A aquellos quienes consideran la ciencia sin dirección como herética, puedo asegurarles a pesar de todo que no estoy loco. Nuestro objetivo es precisamente el mismo, sacar de la Ciencia el mayor provecho posible para el beneficio de la humanidad y hacerlo por los medios mas eficientes; diferimos únicamente en el método. Yo veo la ciencia pequeña como la base esencial de casi todas las aplicaciones prácticas de la Ciencia. Sin la ciencia menor, el progreso de la Ciencia, de la tecnología, la industria, el bienestar y la civilización misma se verá significativamente reducido.

Me gustaría justificar mis aventuradas opiniones acerca de la ciencia menor examinando como la Ciencia contribuye a la sociedad, analizando como trabaja y la importancia de la pequeña ciencia en este proceso. Para empezar, quisiera afinar lo que entiendo por pequeña ciencia. Consideremos dos tipos de Ciencia: dirigida o sin dirección. En ambos casos puede ser grande o pequeña. La ciencia sin dirección es comunmente conocida como básica o fundamental; es manejada únicamente por la curiosidad del científico sin ninguna meta preconcebida o sin tener en mente ningún producto terminado. Su único objetivo es obtener más conocimientos acerca del funcionamiento de la naturaleza, explicarse algún fenómeno interesante, o descubrir como las cosas han llegado a ser. Conforme progresa el trabajo, el científico está en libertad de seguir nuevas direcciones, e inclusive de abandonar el experimento original para perseguir algo inesperado que pudiera resultar más interesante, raro, importante o excitante.

En contraste, la Ciencia dirigida o aplicada se lleva a cabo persiguiendo metas específicas generalmente prácticas, aunque no necesariamente. Las metas son determinadas de antemano, casi siempre por algún administrador, algún político o algún comité de científicos en respuesta a alguna necesidad percibida y puede concentrarse en el desarrollo de algún producto o

buscar la solución para algún problema específico ya sea industrial o relativo a la sociedad. El científico está a cargo de la metodología y de la instrumentación, pero establece las metas de la investigación únicamente dentro de estrechos límites determinados por otros. Dentro de este ámbito de dirección, puede que el científico no se encuentre en libertad de desviarse de los objetivos establecidos a no ser que las nuevas metas sean aprobadas por los interesados.

La Ciencia también puede ser grande o pequeña. La división entre estas dos es arbitraria, pero me gustaría restringir la definición de pequeña ciencia a la investigación hecha por un solo investigador o por un pequeño grupo de dos a cuatro investigadores con modestos recursos técnicos y reducido presupuesto. La mayoría de los presupuestos para la ciencia pequeña están por debajo de unos cuantos cientos de miles de dólares al año, incluyendo salarios, pero no queriendo ser demasiado restrictivos, consideremos poco menos de \$1 millón de dólares anuales. El proyecto típico involucra no más de dos niveles de jerarquía científicos y técnicos o estudiantes y la organización es informal invariablemente. No hay administradores permanentes o de tiempo completo dentro del proyecto de investigación, aunque la institución siempre provee alguna estructura o apoyo administrativo. Los únicos requisitos formales de reporte son la publicación de resultados en revistas científicas y si acaso algún reporte ocasional sobre los progresos de la investigación a la institución que provee los fondos. Este tipo de investigación es comunmente llevado a cabo en universidades y generalmente involucra a estudiantes en un grado considerable.

Por otro lado, la ciencia grande involucra a mucha gente y tiene las proporciones y la complejidad necesarias como para que el mismo proyecto de investigación tenga una estructura administrativa formal de por lo menos tres niveles (administradores, científicos y técnicos) y frecuentemente más. El proyecto puede generar reportes internos así como los que son hechos para la literatura científica. Los presupuestos pueden variar desde unos cuantos millones hasta billones de dólares anuales.

Obviamente, esta clasificación simplifica enormemente el rango infinito de posibilidades entre la pequeña y la gran Ciencia. Pero dejemos de lado estas complicaciones, puesto que no son importantes para mi tesis. Mi interés está centrado realmente en la ciencia pequeña, en la ciencia no orientada; categoría que creo no está recibiendo la atención o el financiamiento que merece.

No creo que el valor de la Ciencia para la sociedad se esté cuestionando. Aparentemente el público está bastante consciente de que nuestra economía, nuestra

salud y muchos placeres se derivan en buena medida de los logros alcanzados por la Ciencia y la tecnología. Pero el público también tiene la idea errónea de que la Ciencia es un arma bien organizada, eficiente y de múltiples propósitos que puede ser apuntada voluntariamente en cualquier dirección para resolver no importa que problema, o inventar cualquier tipo de tecnología que pudieramos necesitar hoy en día o, a lo mucho, mañana. Desgraciadamente, demasiados de nosotros, científicos y administradores de la Ciencia contribuimos a fortalecer este mito en nuestra constante lucha por obtener financiamiento. Es más fácil para nosotros ir "a donde está el dinero" que gastar un poco de nuestro tiempo y esfuerzo explicando el valor de la Ciencia pequeña, sin dirección.

La actitud positiva del público hacia la Ciencia está ampliamente justificada por el hecho de que ésta retribuye a la sociedad por su inversión de diversas maneras palpables, incluyendo contribuciones para el enriquecimiento cultural, avances en la condición humana, crecimiento económico, nuevas invenciones y mejores productos, y soluciones a los problemas causados por el uso o el abuso de la tecnología. Pero de que tipo de ciencia se derivan estos beneficios? Es necesaria la Ciencia aplicada y la Ciencia grande? Por supuesto que sí, la Ciencia dirigida es el camino para la invención y el desarrollo de productos, el lazo decisivo entre la ciencia pura y la industria. La Ciencia orientada también garantiza que suficientes recursos científicos sean aplicados a problemas en los cuales el tiempo es decisivo tales como la disminución de la capa de ozono, el calentamiento del planeta, la predicción de temblores, la polución del océano y el control del SIDA. La Ciencia grande es importante también porque algunos problemas, básicos o aplicados no pueden ser tratados en el pequeño laboratorio universitario o por unos cuantos individuos.

La mayor parte de los descubrimientos básicos en la Ciencia han venido ya sea directamente de pequeños proyectos de investigación o han dependido fuertemente de descubrimientos previos realizados por la ciencia menor, sin orientación.

La Ciencia grande, ciencia aplicada, sin embargo debe contrarrestarse con una cantidad razonable de ciencia menor, pero ese balance comunmente se inclina en dirección equivocada. Quisiera ilustrar esto con algunos datos obtenidos del presupuesto de los Estados Unidos para la Ciencia. En 1967, durante el apogeo del programa lunar Apollo, el gobierno gastó cerca de \$46 billones de dólares (con el ajuste inflacionario) para la investigación y desarrollo de la ciencia y la tecnología,

incluyendo la militar. En 1990 esta cifra fue de \$48 billones. Pero mientras que el gasto de los E.U. para la investigación y el desarrollo han permanecido relativamente constante durante las últimas dos décadas, los fondos destinados para instrumentos científicos con costos excedentes de \$25 millones se ha elevado en un factor de 26.

En la siguiente década, la situación promete empeorar. Algunos de los proyectos para la Gran Ciencia propuestos para 1995, por ejemplo, son: la Estación Espacial (Spacial Station costo aproximado de \$30 billones de dólares), las investigaciones Cassini sobre Saturno (Cassini Saturn probe \$800 millones), Proyecto de Genoma Humano (Human Genome Project \$3 billones), el Sistema de Observación de la Tierra (Earth Observation System; \$17 billones), las Instalaciones de Rayos X para Astro-física Avanzada (Advanced X-ray Astrophysics Facility, 1.6 billones), el "Superconducting Supercollider" (\$8 billones) y la Fuente de Fotones Avanzada (Advanced Photon Source, \$455 millones). Si de alguna manera la Historia puede servirnos de guía para el futuro, estos gastos pueden ser enormemente subestimados.

El panorama para el pequeño investigador por otro lado, es desolador. No obstante que el presupuesto de la Fundación Nacional para la Ciencia aumentó de \$1.72 billones en 1988 a \$2 billones en 1990, los fondos destinados para pequeñas concesiones en Matemáticas, Física, Química, Ingeniería, Biología y Ciencias computacionales se redujeron durante este mismo período, una vez hecho el ajuste inflacionario. La concesión promedio otorgada por el NSF a investigadores independientes se redujo en \$68,000 dólares en 1983 a menos de \$62,000 en 1989 (sin ajustes).

Es difícil comprender porque la Ciencia menor tiene tan poca prioridad. Cualquiera que haya estudiado historia de la Ciencia sabe que la mayoría de los descubrimientos importantes fundamentales en Física, Química, Biología y Ciencias de la Tierra provienen directamente de pequeños proyectos de investigación, o dependen fuertemente de descubrimientos previos hechos por la Ciencia menor sin dirección. Los recientes avances en electrónica, comunicaciones, medicina, tecnología computacional y desarrollo de recursos se han apoyado fuertemente en los descubrimientos de la ciencia menor. Los progresos logrados en la tecnología nos conducen invariablemente hacia el banco de conocimientos científicos básicos que es abastecido principalmente por los científicos que trabajan solos o en pequeños grupos y que son impulsados básicamente por su curiosidad científica. Esto se ha dado a través de la historia de las Ciencias Naturales, tiene validez hoy en día y no existe ninguna razón por la que no deba seguir siendo así en un futuro previsible.

La Ciencia grande debe contrarrestarse con una cantidad razonable de Ciencia menor, y la balanza normalmente se inclina en la dirección equivocada.

Pero cual es esa característica singular que hace que la Ciencia menor, sin dirección sea esencial para el total progreso de la Ciencia y Tecnología? La respuesta es su diversidad ya que ninguno de nosotros es capaz de predecir con algún grado de certeza, cuales descubrimientos científicos serán importantes o cómo serán puestos en práctica en los avances científicos o tecnológicos futuros. Nadie predijo que el descubrimiento de el electrón por Thomson y Lorentz conduciría a la gran variedad de productos de gran utilidad que se derivan de la industria electrónica actual, ni que el trabajo teórico de Maxwell y el descubrimiento de las ondas electromagnéticas de Hertz nos llevarían hacia nuevos y revolucionarios medios de comunicación. Nadie predijo que la curiosidad de unos cuantos geofísicos acerca de el fenómeno del magnetismo reversible en las rocas proveería la clave esencial para formular la teoría de las placas tectónicas. ¿Quién sabe cual será el valor de la teoría de string, o quarks, o neutron stars, o de la tomografía sísmica en el futuro?

Los administradores y dirigentes de la Ciencia no son los únicos imposibilitados para hacer tales predicciones. Los científicos están igualmente incapacitados para pronosticar la importancia de sus investigaciones. Hasta donde sé, ninguno de los científicos en los ejemplos citados sabía hacia donde conducirían finalmente sus investigaciones. Fueron arrastrados únicamente por su curiosidad acerca de fenómenos observables y por su deseo de descubrir belleza y orden en la naturaleza.

Un ejemplo notorio de esto es Lord Rutherford, quien en 1933 hizo el siguiente comentario acerca de la estructura y la energía del núcleo atómico "Quien espere una fuente de fuerza de la transformación de estos átomos estará soñando" (Weisskopf 1972). Esto fue sólo cinco años antes de la demostración de la fisión nuclear.

Mi experiencia personal en el campo científico no hace sino reforzar este punto de vista. Allan Cox, Richyard Doell, y yo no teníamos ni la menor idea de que nuestro experimento sobre la inversión de campos geomagnéticos a principios y mediados de los sesentas proveería la Rosseta que permitiría a Vine, Mathews y Morley descifrar el significado de las franjas magnéticas en el fondo oceánico e iniciar la formulación de un nuevo paradigma conocido como la teoría de las placas tectónicas, para conocer la Tierra. Fuimos arrastrados por nuestra curiosidad y fascinación acerca de la posibilidad de que el campo magnético de la Tierra había sido invertido en el pasado y pensamos

únicamente que las inversiones geomagnéticas eran algo maravilloso para estudiar y ya sea demostrar o refutar.

Existen varias razones lógicas por las cuales la Ciencia es impredecible. He hecho referencia a la primera de ellas el que sólo podemos predecir una parte de las posibles aplicaciones para nuestros resultados. Cada uno de nosotros aporta a la Ciencia una diferente experiencia y un diferente modo de ver las cosas, de tal modo que quizás sólo uno en un millar o un millón es capaz de considerar obvio lo que es obscuro para el resto de nosotros.

La segunda razón es el bien conocido fenómeno de descubrimiento accidental o por azar. Ya que no sabemos con precisión como trabaja la naturaleza, no podemos decir con anticipación que es lo que encontraremos, ni como estos nuevos descubrimientos abrirán nuevos canales de interrogación. Para citar a Alfred North Whitehead "Siempre hay mas posibilidad de encontrar algo valioso cuando no se sabe exactamente que es lo que se está buscando". Los ejemplos de descubrimiento por azar son comunes y casi todos los científicos esto directamente en un mayor o menor grado. El Velcro, los rayos, la corriente eléctrica, el teflon, el hule sintético, el rayón, la insulina, la fisión nuclear, el aspartame, la penicilina, el polietileno y hasta los "corn flakes" han sido el resultado de descubrimientos accidentales.

La tercera razón por la cual la ciencia no es pronosticable es el tiempo que transcurre entre el descubrimiento y la aplicación. Por supuesto, este tiempo varía, pero normalmente consta de décadas, no meses ni años y problememente se deba a que son necesarios otros descubrimientos, experiencias y exigencias antes de que su aplicación sea obvia. Por ejemplo, el fenómeno de resonancia magnética nuclear fue descubierto en los 1940, pero el dispositivo para imagen de resonancia magnética (NMR) -el cual tendría que esperar el desarrollo de la electrónica, la tecnología computacional y la necesidad conceptual- no estuvo en el mercado sino hasta los setentas. Otro ejemplo es la teoría de placas tectónicas, formulada a mediados de los sesentas, teoría dependiente de una amplia variedad de descubrimientos e hipótesis previas. Algunas de las más prominentes son: la idea de Hopkins de la convección de la Tierra (1939); la hipótesis del desplazamiento continental de Snider (1858) y de Wegener (1910); la hipótesis de que el campo magnético de la tierra pudiera invertirse propuesta por Bruhnes en 1906 y por Mercanton en 1926; la hipótesis de Holmes de la expansión del suelo oceanico (1928); el descubrimiento de las zonas Benioff en 1949, y así sucesivamente. Estos descubrimientos e ideas, indispensables para las placas tectónicas, se adelantaron

en el tiempo. Cada uno constituía una pieza no muy clara de una larga y compleja estructura intelectual que sólo llegó a tomar forma cuando toda la evidencia estuvo a la mano -esto no fue sino hasta mediados de la década de los sesentas, mas de un siglo después de que Snider hubo propuesto que los continentes se habían movido.

Nuestra ya demostrada incapacidad para predecir cuales investigaciones conducirán hacia descubrimientos significativos quiere decir que una parte substancial de la Ciencia debe hacerse sin dirección. El único modo de garantizar el progreso de la Ciencia, lo cual no sólo deseamos, sino esperamos, es reconocer la impredecibilidad de la Ciencia y asegurar que una suficiente y constante diversidad de Ciencia menor sea llevada a cabo. Por más detestable que pueda ser para los administradores y los políticos, una cantidad importante de científicos deben ser dejados libres para seguir su propia curiosidad, redimiéndoles de la necesidad de justificar lo que hacen en términos prácticos y liberándolos de las metas cercanas. Debemos aceptar que la Ciencia no es particularmente eficiente y que algunas investigaciones tal vez no conduzcan a nada práctico o importante. Pero también debemos reconocer que a la larga, a pesar de su ineficiencia, la ciencia sin dirección es muy provechosa y debemos apoyarla, ya que de otra manera, la Ciencia perderá su vitalidad.

La Ciencia grande sin dirección contra la Ciencia pequeña es otro tipo de problema. La necesidad de cierta cantidad de Ciencia grande es innegable, pero ya ha acaparado demasiado los fondos disponibles para la Ciencia y amenaza con absorber aún mas. Como en el caso de la ciencia sin dirección contra la ciencia aplicada, la cuestión de grande contra pequeña es de equilibrio, y en mi opinión el balance es en el presente desfavorable.

¿ Que tanta Ciencia menor, sin dirección es suficiente para garantizar la diversidad necesaria para la vitalidad de la Ciencia? No tengo una respuesta definitiva, pero adivino que un poco menos del 20-25% del total de la Ciencia que se lleva a cabo, considerando los fondos disponibles, pudiera bastar. Debe ser suficiente para asegurar la diversidad de la Ciencia, para proteger la infraestructura esencial de la cual depende todo el progreso científico y para proveer un campo de entrenamiento adecuado para los futuros científicos.

Me gusta comparar el pozo de conocimientos que resulta de la investigación científica con una cuenta bancaria. En ella depositamos nuestros descubrimientos, hipótesis y teorías y retiramos información para posterior investigación, tanto fundamental como aplicada, así como para el desarrollo de la tecnología. Los conocimientos que ahí depositamos son el capital,

nuestra inversión para el futuro. La información que de ahí sacamos y aplicamos es el interés -nuestra recompensa por haber sido lo suficientemente sabios como para invertir. Sin embargo, hoy en día, no somos buenos inversionistas puesto que sacamos más de lo que depositamos; en efecto, nos estamos gastando el capital y después de un tiempo no habrá mas intereses que recoger

¿Que pueden hacer los científicos al respecto? Mejor es que informemos al público y a quienes tienen la responsabilidad de distribuir los fondos acerca del extremo valor práctico y económico de la Ciencia pequeña, sin dirección. Podemos oponernos a brincar en el último vagón del tren simplemente porque ahí es donde está el dinero. Podemos apoyar a nuestros colegas que están haciendo y publicando los resultados de una buena ciencia fundamental. Podemos enseñar a nuestros estudiantes -los científicos y administradores del futuro- el valor y la necesidad de la pequeña ciencia sin dirección.

Lo que pido a la sociedad es que afloje un poco las cadenas y que de un poco más de libertad a los científicos para hacer lo que mejor saben hacer - investigar la naturaleza. A cambio nosotros debemos de reconocer que también tenemos responsabilidad. Tenemos el deber de seleccionar problemas interesantes, de ser productivos, de comunicar nuestros hallazgos de manera efectiva a nuestros colegas y al público, de aprovechar los recursos que la sociedad nos otorga, de tener en cuenta y responder a las necesidades pertenecientes a la sociedad, de abstenernos de hacer demasiadas promesas y a educar a la siguiente generación. Y sobre todo, debemos meter mas de lo que sacamos. Citando al fallecido Richard Feynman (1988), "Nuestra responsabilidad es hacer lo que podemos, aprender lo que podemos, perfeccionar las soluciones y transmitir las a otros".

**Artículo aparecido en Earth in Space, Feb. 1991.
Pub. American Geophysical Union.**

RADIOACTIVIDAD BETA Y LA CENTRAL NUCLEAR DE LAG. VERDE
La Comisión Federal de Electricidad, con apoyo del Instituto de Geofísica de la UNAM, está llevando a cabo toda una serie de análisis de los datos de las estaciones meteorológicas ubicadas alrededor de la Central Nuclear y también está midiendo la radiactividad beta total en partículas atmosféricas. Todo esto tiene por objeto el establecer un sistema de control para el monitoreo de radiactividad natural que será usado cuando la planta nucleoelectrónica entre en operación.

LA INGENIERIA Y EL CLIMA
Diferentes investigadores en el área de las Ciencias de la Atmosfera son de la opinión de que algunos factores del clima pueden ser cambiados intencionalmente introduciendo grandes cantidades de gases en la atmósfera. Este cambio podría ser positivo para el planeta si se hace en forma adecuada. Actualmente están en estudio diversos programas que intentan predecir teóricamente el cambio generado en el clima terrestre al inyectar grandes cantidades de ciertos gases en la atmósfera. Este aspecto ha cobrado importancia al detectarse el adelgazamiento de la capa de ozono atmosférico en los polos y según algunos investigadores es factible regenerar la capa por medios artificiales. Todos estos aspectos están originando una serie de proyectos que se enmarcan en la denominada Ingeniería Climática.