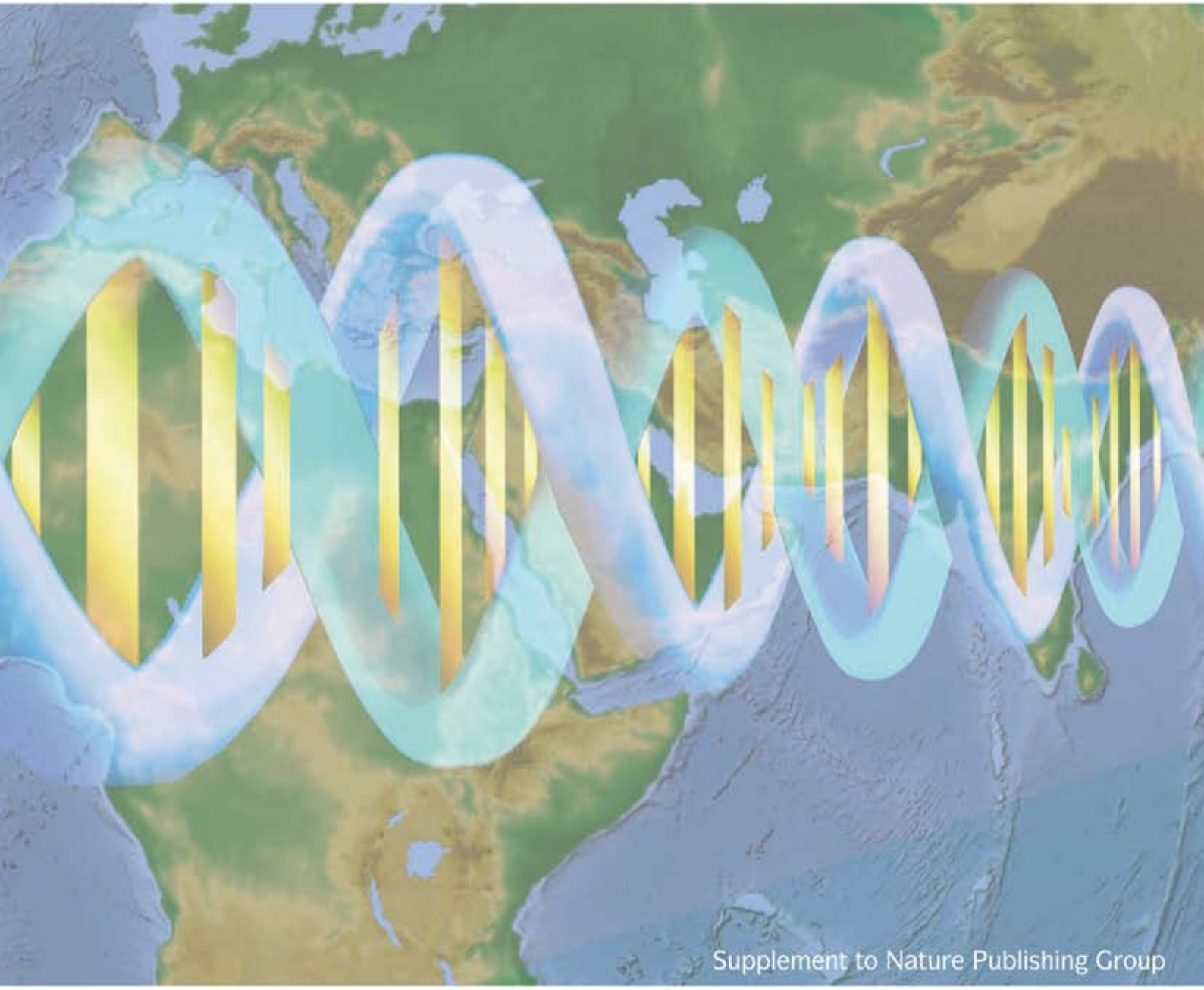
nature REVIEWS GENETICS
october 2008
www.nature.com/nrg/supplements/genomicmedicine

Genomic medicine
in developing countries



Supplement to Nature Publishing Group

Produced with support from

McLaughlin-Rotman Centre FOR GLOBAL HEALTH
GenomeCanada
OntarioGenomicsInstitute
Ontario

PRÓLOGO

Iniciativas sobre la variación genómica humana en las economías emergentes y los países en desarrollo

Béatrice Séguin, Billie-Jo Hardy, , Peter A. Singer, y Abdallah S. Daar

Resumen | Con el fin de entender mejor las oportunidades e implicaciones que para la salud mundial tiene la aplicación del conocimiento sobre la variación genómica humana en las economías emergentes, realizamos estudios de caso en México, Tailandia, Sudáfrica e India. Nuestros hallazgos son pertinentes para el campo de la genómica porque este confluye con la salud pública y es una fuente potencial de desarrollo económico en el mundo en desarrollo.

La inversión en ciencia y tecnología innovadora y su adopción son cruciales para mejorar la salud de las poblaciones y estimular a las economías emergentes y los países en desarrollo[1]. Estos países están construyendo cada vez más su propia infraestructura[2–4] y están fomentando la innovación local para captar el valor de sus inversiones en ciencia y tecnología[5]. Estos esfuerzos son claves para romper el ciclo de la dependencia de los países industrializados.

Una vez finalizado el Proyecto del HapMap, se inició un gran número de proyectos de genotipificación a gran escala en los países desarrollados para explorar la relación entre los SNPs y la varianza poblacional desde la perspectiva de la predisposición a las enfermedades, el diagnóstico y la respuesta farmacológica. Dichos proyectos incluyen, pero no se limitan a, CartaGene en Canadá, UK Biobank en el Reino Unido, Western Australian Genome Health Project en Australia, Singapore Tissue Network en Singapur y KoraGen en Alemania. Estas iniciativas, junto con los incentivos normativos recientes de la Administración de Alimentos y Fármacos de Estados Unidos, la creciente validación de biomarcadores, la evidencia farmacoeconómica, así como los litigios potenciales y la demanda de los pacientes, están impulsando la adopción de la medicina genómica en los países desarrollados. Muchos consideran que estos proyectos se traducirán en beneficios de salud significativos, incluyendo el diagnóstico individual y las terapias personalizadas, los cuales mejorarán los resultados de los tratamientos[6]. Las economías emergentes, como India, México y Tailandia, también han elegido financiar con fondos públicos iniciativas de genotipificación humana a gran escala para explorar la variación genómica humana en sus poblaciones. Dichos países sugieren que el establecimiento de estas bases de datos les permitirá tener acceso a los beneficios asociados con la medicina genómica y la farmacogenómica, las cuales tienen el potencial de generar ahorros en los costos de desarrollo farmacológico, reducir los costos de la atención médica, estimular el crecimiento y la inversión dentro del sector privado local, y descubrir que la diversidad genética es relevante para la respuesta farmacológica o la predisposición a las enfermedades[5]. De hecho, hemos argumentado anteriormente que los países en desarrollo son quienes menos pueden permitirse desperdiciar recursos valiosos en diagnósticos y tratamientos ineficientes; la medicina genómica, por ende, tiene una relevancia significativa para la salud de los habitantes de los países desarrollados[5,6]. Los conocimientos emergentes acerca de la variación genómica humana local en estos países también pueden ser apuntalados por el sector privado nacional local con miras a crear costo-beneficio y mejorar sus procesos de desarrollo farmacológico[6]. Con el fin de capitalizar estas iniciativas de genotipificación a gran escala y el potencial de la medicina genómica, será necesario resolver los problemas normativos emergentes y los obstáculos locales para la traducción de la investigación básica así como la comercialización y entrega de los productos potenciales. Sin embargo, la manera en que un determinado país en desarrollo elija impulsar la producción de conocimientos dependerá de la infraestructura de investigación y comercialización existente; su manera de proteger los datos dependerá de los sistemas legislativos, normativos y de gobernanza establecidos, y su manera de integrar dentro de su sistema de salud los beneficios obtenidos más adelante, dependerá de las necesidades de salud internas y la infraestructura de atención médica local.

Las tecnologías genómicas emergentes, como la secuenciación y la genotipificación, pueden reforzarse potencialmente para mejorar la salud y disminuir la carga de enfermedad. Reconociendo esta consideración, en 2002 la Organización Mundial de la Salud (OMS) sugirió que los países deberían: "fortalecer los centros e instituciones existentes involucrados en la investigación genómica o crear nuevos, con miras a fortalecer la capacidad nacional y acelerar la aplicación de los avances de la genómica pertinentes para los problemas de salud de los países". De lo contrario, la brecha en la calidad de la atención médica entre las naciones en desarrollo y desarrolladas seguirá ensanchándose. El momento actual, cuatro años después de este informe, es oportuno para empezar a explorar la manera en que las economías emergentes y los países desarrollados están respondiendo a este reto.

*McLaughlin–Rotman Centre for Global Health, Program on Life Sciences, Ethics and Policy, University Health Network and University of Toronto, MaRS Centre, South Tower, Suite 406, 101 College Street, Toronto, Ontario M5G 1L7, Canada.
‡Faculty of Pharmacy, University of Toronto, 144 College Street, Toronto, Ontario M5S 3M2, Canada.
§McLaughlin Centre for Molecular Medicine, MaRS Centre, Toronto Medical Discovery Tower, Suite 701, 101 College Street, Toronto, Ontario M5G 1L7, Canada.
Correspondence to A.S.D.
e-mail: a.daar@utoronto.ca
doi:10.01038/nrg2439

©2008 Macmillan Publishers Limited. All rights reserved

Cuadro 1 | **Metodología de investigación**

Se utilizaron métodos cualitativos de estudios de caso para esta investigación. Los estudios de caso de las iniciativas de genotipificación humana de México, India, Tailandia y Sudáfrica fueron seleccionados por las siguientes razones: en ese momento, cada uno de ellos había arrancado con ventaja en comparación con los demás países del mismo nivel de desarrollo económico; ya habíamos realizado estudios sobre los sistemas de innovación biotecnológica en salud en dos de estos países; se nos garantizó el acceso a los científicos e investigadores gracias a los contactos preexistentes; y en este momento tenemos otros proyectos seleccionados en estos países.

La información se recopiló entre junio de 2006 y marzo de 2008. Realizamos 76 entrevistas semi-estructuradas, a profundidad, en persona (o vía teleconferencia) con informantes clave que incluyeron a científicos y directivos del Instituto Nacional de Medicina Genómica (INMEGEN) de México, Indian Genome Variation (IGV) Database Consortium de India, SNP Discovery Project de Tailandia, National Center for Genetic Engineering and Biotechnology (BIOTEC) de Tailandia, Thai Centre of Excellence for Life Sciences (TCELS) de Tailandia, y African Genome Education Institute (AGEI) y la División de Genética Humana de la Universidad de Ciudad del Cabo en Sudáfrica. También entrevistamos a informantes clave de diversos ámbitos, como los medios de comunicación, organizaciones no gubernamentales, dependencias normativas, ministerios de salud, así como expertos en el área de genómica/farmacogenómica y ética de países desarrollados y en desarrollo. También recopilamos información de documentos, como los materiales de uso público considerados como pertinentes para las preguntas del estudio. Las entrevistas tuvieron una duración de aproximadamente una hora; el audio se grabó y se transcribió.

Los datos se analizaron en varias fases. Inicialmente se identificaron las categorías temáticas mediante el análisis de las transcripciones de las entrevistas con una codificación generativa o abierta (esto es, el análisis de las repeticiones de palabras, los términos y las palabras clave). La siguiente fase del análisis de los datos consistió en la codificación axial de los mismos, lo que nos permitió establecer conexiones dentro de las categorías temáticas y entre ellas. En la fase final identificamos los conceptos centrales utilizando una codificación selectiva. Los resultados fueron validados en forma cruzada por diferentes miembros de nuestro grupo de investigación. Este estudio fue aprobado por el comité sobre el uso de sujetos humanos de la Universidad de Toronto. Cada uno de los participantes entrevistados dio su consentimiento informado.

Deseosos de entender la manera en que los avances de la tecnología innovadora pueden dirigirse hacia la equidad mundial en salud, examinamos la manera en que esta se ve afectada por la tendencia emergente de aplicar el conocimiento de la variación genómica humana para entender la susceptibilidad a las enfermedades y la respuesta farmacológica (Cuadro 1). También examinamos el potencial del desarrollo de productos de las ciencias de la vida para la salud que puedan ayudar a mejorar la salud en el mundo en desarrollo; idealmente, serían productos desarrollados por científicos en el mundo en desarrollo con el fin de crear valor para sus propias sociedades. Los artículos que se presentan a continuación ofrecen un panorama general de la manera en que nuestros países, México, India, Tailandia y Sudáfrica, están empezando a innovar dentro del sector emergente de las ciencias de la vida a través de las inversiones en estudios sobre la diversidad genómica humana – un paso lógico después de la secuenciación del genoma humano. Nos enfocamos en: explorar las motivaciones para proponer y emprender iniciativas de genotipificación a gran escala; entender los mecanismos que los países en desarrollo están contemplando o instrumentando para desarrollar una medicina genómica acorde con sus propias circunstancias, y explorar el potencial de comercialización de los resultados de dichos estudios; entender los retos que se enfrentan y la manera en que esos retos se están explorando; e investigar los problemas potenciales emergentes éticos, legales, sociales y culturales que han surgido o podrían surgir como consecuencia de estas iniciativas.

Tres de los estudios de caso, de México, India y Tailandia, se enfocan en seis temas transversales principales: voluntad política, liderazgo institucional, beneficios de salud locales, soberanía genómica, economía basada en el conocimiento y retos. En conjunto, estos temas representan una 'taxonomía' de las fuerzas impulsoras hacia la adopción de la medicina genómica en las economías emergentes junto con los retos que cada iniciativa ha enfrentado subsiguientemente. El estudio de caso sudafricano es distinto porque aun cuando se han hecho esfuerzos por lanzar una iniciativa nacional de genotipificación a gran escala para catalogar la variación basal en toda la población sudafricana, aún no se instrumenta un proyecto de este tipo. En el artículo final presentamos una perspectiva de los retos y oportunidades asociados con la adopción de la medicina genómica, particularmente en el mundo en desarrollo, y la necesidad de entender la naturaleza interdependiente de los esfuerzos para desarrollar la medicina genómica.

Nuestros hallazgos deben ser significativos para las economías emergentes y en desarrollo que están interesadas en la evolución de los estudios genómicos, particularmente en su intersección con la salud pública como fuentes potenciales de actividad económica. En este aspecto los hallazgos son pertinentes para: los líderes de las instituciones dedicadas a la investigación; los políticos, especialmente de los ministerios de ciencia y tecnología, industria y comercio, y salud; los legisladores que consideran la inversión en investigación; los científicos individuales; los inversionistas y las pequeñas y medianas empresas del sector privado tanto de países industrializados como en desarrollo; y las organizaciones interesadas en la manera en que la ciencia y la tecnología, y particularmente las ciencias de la vida, pueden utilizarse para lograr y acelerar la seguridad de la salud y el desarrollo económico en general.

1. UN Millennium Project 2005 Task Force on Science, Technology, and Innovation. Innovation: Applying Knowledge in Development. [online], <http://www.unmillenniumproject.org/documents/Science-complete.pdf> (2005).
2. Frew, S. E. *et al.* India's health biotech sector at a crossroads. Nature Biotechnol. **25,** 403-417 (2007).
3. Frew, S. E. *et al.* Chinese health biotech and the billion-patient market. *Nature Biotechnol.* **26**, 37-53 (2008).
4. Masum, H., Daar, A. D., Al-Bader, S., Shah, R. & Singer, P. A. Accelerating health product innovation in sub-Saharan Africa. *Innovations: Technology, Governance, Globalization* **2**, 129-149 (2007).
5. Séguin, B., Hardy, B. J., Singer, P. A. & Daar, A. S. Genomic medicine and developing countries: creating a room of their own. *Nature Rev.Genet.* **9**, 487-493 (2008).
6. Daar, A. S. & Singer, P. A. Pharmacogenetics and geographical ancestry: implications for drug development and global health. *Nature Rev. Genet.* **6**, 241-246 (2005).
7. World Health Organization. Genomics and World Health: Report of the Advisory Committee on Health Research. [online], <http://www.who.int/gb/ebwha/pdf files/EB_111/eeb_11112.pdf> (2002).

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por Genome Canada a través del Instituto de Genómica de Ontario. El Consejo Indio de Investigación Médica poporcionó un co-financiamiento en especie para este proyecto. El Programa de Ciencias de la Vida, Ética y Política del Centro de Salud Global McLaughlin-Rotman recibe apoyo primordialmente de Genome Canada a través del Instituto de Genómica de Ontario, el Fondo de Investigación de Ontario, y de la Fundación Bill and Melinda Gates. Otros socios pareados se enumeran en el sitio web del Centro de Salud Global McLaughlin-Rotman. A.S.D. y P.A.S. recibieron apoyo del Centro de Medicina Molecular McLaughlin. P.A.S. recibió apoyo del premio al Investigador Distinguido de los Institutos Canadienses de Investigación en Salud.

Declaración de intereses competidores

INFORMACIÓN ADICIONAL

CartaGene: http://www.cartagene.qc.ca/index.php?lang=english
KoraGen: http://epi.gsf.de/kora-gen/index e.php
McLaughlin-Rotman Centre for Global Health: http://www.mrcglobal.org
Singapore Tissue Network: http://www.stn.org.sg
UK Biobank: http://www.ukbiobank.ac.uk
Western Australian Genome Health Project: http://www.genepi.org.au/projects/waghp.html

TODOS LOS LINKS ESTÁN ACTIVOS EN LA VERSIÓN EN PDF CONSULTADA EN LÍNEA

©2008 Macmillan Publishers Limited. All rights reserved

CIENCIA Y SOCIEDAD

Genómica, salud pública y países en desarrollo: el caso del Instituto Nacional de Medicina Genómica de México (INMEGEN)

Béatrice Séguin, Billie-Jo Hardy, Peter A. Singer y Abdallah S. Daar

Resumen | En 2004 el Gobierno de México estableció el Instituto Nacional de Medicina Genómica (INMEGEN) para llevar a cabo estudios genómicos relacionados con las enfermedades que abordarán los problemas nacionales de salud y estimularán el desarrollo científico y tecnológico mediante la generación de nuevos productos comerciales y servicios de medicina genómica. Con este fin, el INMEGEN está realizando un proyecto de genotipificación a gran escala para mapear la variación genómica dentro de su población. Se espera que esta iniciativa genere un recurso clave para que los investigadores locales entiendan la susceptibilidad a las enfermedades y la variación de las respuestas farmacológicas, lo que contribuirá a la meta de México de desarrollar la genómica de la salud pública —un campo en el que México está demostrando ser un líder entre las economías emergentes.

México se unió recientemente a la comunidad mundial al invertir en estudios sobre la variación genómica humana a través de la creación del Instituto Nacional de Medicina Genómica (INMEGEN), el primer instituto mexicano que describe sistemáticamente la diversidad genómica de la población mexicana. El INMEGEN le dará a México la oportunidad de crear soluciones innovadoras a sus propios retos en materia de salud, dado que se enfocará en el vínculo entre la variación genómica de la población mexicana, la susceptibilidad a las enfermedades y la variabilidad en la respuesta a fármacos. Esta iniciativa, es particularmente pertinente porque estadísticas recientes muestran que además de las crecientes tasas de enfermedades infecciosas en los países en desarrollo, las tasas de enfermedades no transmisibles también están aumentando[1]. Cualquier herramienta, incluida la genómica, que pueda abordar estos problemas de salud será de gran valor en un país como México. El INMEGEN también tendrá una función en el desarrollo económico. La reciente propuesta preliminar de México sobre una nueva Ley de Ciencia, Tecnología e Innovación[2] hace mención de varios retos del sistema de innovación de México que el INMEGEN ayudará a resolver: México tiene un crecimiento económico lento que ascendió a tan sólo el 2.8% anual entre 1980 y 2004; únicamente hay 0.80 investigadores por cada 1000 personas económicamente activas; sólo el 0.33% del producto interno bruto (PIB) de México se gastó en ciencia y tecnología (S&T, por sus siglas en inglés) en 2006; y los vínculos entre las instituciones dedicadas al conocimiento en el sector público y el sector privado han sido débiles o insuficientes[2].

Mediante los métodos cualitativos previamente descritos[3,4] realizamos 19 entrevistas semiestructuradas a profundidad con informantes clave que representan a científicos y directivos del INMEGEN y con informantes clave de diversos ambientes, como los medios de comunicación, una organización no gubernamental, científicos de otros países latinoamericanos, así como expertos en las áreas de genómica/farmacogenética y ética de países tanto desarrollados como en desarrollo. Aquí presentamos el análisis del estudio de caso del INMEGEN; es singular porque busca desarrollar la genómica de la salud pública en México.

La adopción de la medicina genómica en México

Voluntad política. En el año 2000, el consorcio para la creación del INMEGEN, que incluyó representantes de la Secretaría de Salud (SS), la Fundación Mexicana para la Salud (FUNSALUD), el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)[5,6], encomendó la realización de un estudio de factibilidad que concluyó que el desarrollo de la medicina genómica en México conduciría a mejoras significativas en el diagnóstico, tratamiento y prevención de las enfermedades, lo que permitiría una reducción en los costos de los servicios de salud. El estudio también señaló que una plataforma mexicana de medicina genómica estimularía la S&T local, particularmente en el campo de la farmacogenómica, y promovería el desarrollo de bienes y servicios[7]. El informe fue crucial para obtener el apoyo social y político del Congreso Mexicano.

En 2004 el INMEGEN se convirtió en el décimo primer integrante de los Institutos Nacionales de Salud de México (INS-M), los cuales comprenden a las principales entidades gubernamentales dedicadas a la investigación médica y ofrecen la atención médica del más alto nivel en México. La creación del INMEGEN es de particular importancia histórica para México, porque es el primer integrante de los INS-M que se creó con el apoyo de todos los partidos políticos representados en el Congreso, lo que transmite un mensaje concreto en el sentido de que la medicina genómica es una prioridad para el pueblo de México y legitima su creación.

Soberanía genómica. Nuestros informantes clave estuvieron de acuerdo en que, aun cuando el genoma humano es un bien público, existen patrones únicos de variación que pueden encontrarse en subpoblaciones y que tienen implicaciones para el desarrollo de diagnósticos y terapéuticas genómicos en México. Este concepto se refuerza aún más con los avances recientes de las técnicas de barrido pangenómico, las cuales han revelado que las variantes a gran escala en el número de copias y otras variantes genómicas estructurales son una fuente de variación humana más frecuente que la variación al nivel de nucleótidos[8,10]. Como explicó uno de los informantes, "seguramente otros se han referido a la soberanía genómica [..] nosotros creemos que si no realizamos estudios para en-

©2008 Macmillan Publishers Limited. All rights reserved

tender el patrimonio genómico que poseemos, nadie más lo hará, porque estarán interesados en sus propias poblaciones. En segundo lugar, en caso de existir el interés y si ellos [otros países] obtienen esta información, nos volverán dependientes de esta información y entonces nos costará. Tenemos que desarrollar nuestra propia información genómica". En este contexto, varios informantes nos describieron el término 'soberanía genómica' como la motivación central para la creación del INMEGEN. Recientemente entró en vigor una modificación a la Ley General de Salud de México que busca proteger la soberanía genómica nacional de los mexicanos[11]. En consecuencia, el muestreo de material genético y su transporte fuera de México sin la previa aprobación de la SS son ilegales. La legislación también estipula que la SS se reservará el derecho de solicitar al INMEGEN su opinión sobre las solicitudes de transportación de cualquier material genético humano fuera de México. Esta ley surgió de la respuesta a los reportes sobre la 'investigación tipo safari', en la que investigadores extranjeros intentaban obtener muestras de sangre de sujetos mexicanos, incluidos los grupos indígenas, sin la aprobación de la SS y de los comités de ética mexicanos locales[12]. Estos informes alimentaron la preocupación por el hecho de que ni los participantes en esas investigaciones ni la población mexicana en general se beneficiarían de tal investigación. Aun cuando la nueva ley se refiere específicamente al transporte de material genético humano, es parte de un deseo más amplio de que cualquier beneficio derivado de la medicina genómica sea accesible al público mexicano. Con este fin, el INMEGEN también desempeña la función de centro nacional de referencia de medicina genómica, lo que permite al Instituto supervisar todos los productos o servicios futuros derivados de la investigación genómica humana realizada en la población mexicana.

Beneficios de salud locales. El gobierno mexicano gasta alrededor del 6.4% de su PIB en servicios de salud[13], y su sistema de salud está conformado por entidades públicas y privadas. Como parte del sector salud público, el INMEGEN tiene la encomienda de satisfacer las necesidades de servicios de salud de una nación que enfrenta una creciente carga de enfermedades crónicas, las cuales muchas veces requieren tratamiento farmacológico continuo. El INMEGEN ha genotipificado a más de 1,200 mestizos de diferentes regiones de México, mediante el análisis de 500,000 a 600,000 SNPs. Esta información ha desencadenado en México una serie de estudios genómicos relacionados con enfermedades que se usarán para mejorar los servicios de salud de la población mexicana. Estos estudios, a su vez, facilitarán la investigación enfocada en relacionar la información genómica de la población mexicana con causas significativas de morbi-mortalidad en México, como la degeneración macular, la diabetes mellitus, la hipertensión y la obesidad, el cáncer, las infecciones, y las enfermedades cardiovasculares. La estrategia del Instituto es utilizar las frecuencias alélicas de la población basadas en evidencia para informar a los tomadores de decisiones de salud pública y dirigir las intervenciones de salud consecuentemente.

Dado que las tres principales causas de mortalidad en México son las enfermedades cardiovasculares, la diabetes y el cáncer[14], la contribución del INMEGEN de mejorar la salud pública consistiría en campañas de promoción de la salud dirigidas a las subpoblaciones mexicanas con mayor riesgo de desarrollar estas enfermedades crónicas, con base en los resultados de los estudios genómicos y clínicos del INMEGEN. Por ejemplo, el plan de trabajo 2004-2009 del INMEGEN informa que la medicina genómica tiene el potencial de reducir los costos de los servicios de salud relacionados con el manejo de la diabetes en un 36% entre 2010 y 2025 (Ref. 5). Otra contribución que destaca el INMEGEN es el potencial que puede ofrecer la farmacogenómica para el tratamiento de la leucemia pediátrica con 6-mercaptopurina, un fármaco efectivo conocido por su estrecho índice terapéutico (la razón entre el beneficio terapéutico y los efectos secundarios) y su riesgo de eventos tóxicos severos.

Hasta el momento, el INMEGEN ha enfocado su iniciativa de genotipificación en la población mestiza (~80% de la población de México) y no en las poblaciones indígenas. El INMEGEN procedió con la primera fase de su proyecto de haplotipos tomando muestras de la población mestiza de todas las áreas geográficas del país. La obtención de su consentimiento fue acorde con la Ley Federal de México e incluyó ocho lineamientos del proyecto sobre los problemas éticos, legales y sociales derivados del HapMap (ELSI, por sus siglas en inglés)[15]. Lo que motivó la decisión del INMEGEN de diferir el muestreo de las poblaciones indígenas de México fueron los incidentes de investigación tipo safari reportados, tanto locales como internacionales, y los casos bien conocidos del uso de muestras del ADN de indígenas sin su consentimiento[16,19]. En consecuencia, apenas se inició la segunda fase de la haplotipificación de las poblaciones indígenas de México, y el INMEGEN está trabajando con las comunidades para ayudarles a entender los objetivos y los beneficios y riesgos del estudio. Con este fin, el INMEGEN ha estado trabajando con el Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM, las Secretarías de Salud de los estados, así como con líderes de las comunidades indígenas y científicos sociales con el fin de traducir los formularios del consentimiento informado a las lenguas indígenas locales.

¿Cómo traducirá el INMEGEN sus descubrimientos en productos que beneficien a la población? Aún cuando el INMEGEN está enfocado en la genómica de la salud pública, también busca promover el desarrollo del sector privado como parte de un deseo más amplio de aumentar la competitividad de México en un mercado mundial. El Instituto reconoce que el sector privado es parte esencial de la entrega eficiente de diagnósticos y terapéuticas seguros y efectivos. En consecuencia, tiene la intención de fomentar el crecimiento de las pequeñas y medianas empresas (PYMEs) del sector privado mediante iniciativas gubernamentales, tales como la inversión en investigación y desarrollo (R&D, por sus siglas en inglés) local, la cual aborda las necesidades locales de salud y puede asegurar una ventaja competitiva en una economía basada en el conocimiento. Involucrarse en la economía basada en el conocimiento es fundamental para México en función del lento crecimiento económico que ha tenido recientemente[2,20].

La economía basada en el conocimiento. De acuerdo con nuestros informantes clave, en general los investigadores y académicos mexicanos no han adoptado una cultura de comercialización. Entre 1980 y 2001, el 96% de las solicitudes de patentes de biotecnología en México fueron presentadas por extranjeros[21]. De acuerdo con lo anterior, la visión estratégica del INMEGEN incluye el desarrollo de una sólida plataforma de propiedad intelectual[4]. Asimismo, dado que el INMEGEN está integrado dentro del sistema de los INS-M, el tener la propiedad intelectual de sus descubrimientos le ayudará a integrar los conocimientos generados al sistema de salud pública. Por ende, los ciudadanos mexicanos tienen garantizado el acceso a los productos relacionados con los descubrimientos hechos en el INMEGEN, porque la estrategia de propiedad intelectual del Instituto proporciona el poder para negociar la asequibilidad y el acceso a las terapéuticas derivadas de sus patentes.

En la actualidad, el INMEGEN y el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI, por sus siglas en inglés) están compartiendo su competencia técnica en materia de ciencias genómicas y derechos de propiedad intelectual. Además, el INMEGEN está negociando una subvención de 5 millones de dólares del IMPI para establecer y mantener una oficina interna de propiedad intelectual y una incubadora de negocios. Estas facilidades le permitirían al INMEGEN proporcionar a los investigadores mexicanos la infraestructura y competencia técnica requeridas para traducir la investigación

©2008 Macmillan Publishers Limited. All rights reserved

básica en aplicaciones comerciales. Adicionalmente, el patronato del INMEGEN está compuesto de líderes empresariales locales de compañías como Nestlé México, Cementos Apasco y la Asociación Mexicana de Bancos, quienes asesoran al Director General y a la Junta de Gobierno del INMEGEN en áreas clave del desarrollo empresarial. Aun cuando el INMEGEN tiene asegurados $125 millones como financiamiento gubernamental inicial para un periodo de 5 años[6], el Patronato también trabaja activamente en iniciativas para recaudar fondos, con los que diversifica las fuentes de financiamiento y aumenta la probabilidad de sustentabilidad del INMEGEN a largo plazo.

El INMEGEN fomenta el que los investigadores del campo de la genómica desarrollen compañías surgidas de su trabajo en el Instituto que puedan traducir los conocimientos adquiridos en productos para el cuidado de la salud y fomentará el desarrollo de PYMEs locales en el área de la medicina genómica. Como destacó un informante clave, "si queremos que [las terapéuticas y diagnósticos potenciales] lleguen a las farmacias, a la cabecera de los pacientes y a los consultorios de los médicos, no hay duda de que necesitamos crear un producto y comercializarlo, tenemos que hacerlo". Esas PYMEs podrían, en un futuro, iniciar alianzas con compañías farmacéuticas mexicanas o grandes multinacionales para desarrollar diagnósticos y terapéuticas que puedan satisfacer mejor las necesidades locales en materia de salud. Promover una cultura de comercialización también requerirá de un mercado receptivo a los productos de salud genómicos del futuro. No obstante, el INMEGEN está consciente de que los productos genómicos podrían no ser bien recibidos a menos de que se desarrolle una estrategia apropiada de compromiso público.

Liderazgo Institucional. El INMEGEN ha demostrado un liderazgo institucional al desarrollar programas y herramientas para el compromiso público, enfatizando la educación y capacitación, desarrollando una unidad ELSI, y participando en colaboraciones tanto norte-sur (entre economías desarrolladas y en desarrollo) como sur-sur (entre las economías en desarrollo).

El INMEGEN se ha involucrado con el público desde su creación. Los esfuerzos del Instituto por promover la comprensión del proyecto del HapMap mexicano se tradujeron en participaciones en programas de radio y cómics dirigidas al público general[22]. Para involucrar a los jóvenes en los temas de la medicina genómica, el Instituto ha desarrollado una serie de historietas llamada 'La Medicina Genómica, El Genoma Humano', en la que se describen el genoma humano, sus aplicaciones potenciales y los aspectos éticos, legales y sociales que surgen del estudio y la aplicación de la genómica humana. Dirigida a estudiantes entre 10 y 12 años de edad, la serie impresa se distribuye en las escuelas de todo el país con la ayuda de la Secretaría de Educación Pública y también puede consultarse desde la página web de los cómics del INMEGEN. El objetivo de los cómics es involucrar al público y desarrollar una 'cultura genómica' que incluya la comprensión y aceptabilidad por parte del público de los productos futuros de la medicina genómica. En palabras de un informante clave, "la razón por la que es tan importante crear esta cultura genómica es que si encontramos algo y desarrollamos un producto, pero no hay una cultura sino más bien mitos sobre la clonación y otros temas, y sacamos ese primer producto – no será bien recibido". El siguiente paso del INMEGEN después de la publicación del primer libro de historietas fue una sesión con un grupo focal a manera de muestra (15 alumnos y 14 adultos) para obtener sus opiniones sobre cómo mejorar los siguientes números. Este proceso de autoevaluación es crucial para garantizar que sus herramientas para involucrar al público sean efectivas. El impacto de esta serie de libros de historietas como herramienta para la participación del público se extiende fuera de México. Por ejemplo, el INMEGEN ha colaborado con el Translational Genomics Institute en Phoenix, Arizona, para desarrollar una versión en inglés. Además, el INMEGEN participa en presentaciones sobre el genoma humano en museos científicos locales. Todos estos esfuerzos tienen el propósito de crear una generación de ciudadanos bien informados que puedan participar en las políticas públicas.

El Instituto participa en el programa multiinstitucional sobre ciencias genómicas que se imparte al nivel de licenciatura —el primero en su tipo en América Latina. El INMEGEN ofrece varios cursos al nivel de licenciatura, no sólo en genómica y medicina genómica, sino también en áreas como administración pública, comunicaciones, ciencias de la salud, derecho, diseño, desarrollo tecnológico, economía, informática y supercómputo. El INMEGEN organiza también cursos sobre medicina genómica dirigidos a los profesionales de la salud en las principales escuelas de medicina de la ciudad de México, como son: 'Introducción a la Medicina Genómica', 'Aplicaciones Genómicas en Pediatría' y 'Aplicaciones Genómicas en Medicina Interna'. Asimismo, ofrece cursos para los alumnos de maestría y doctorado en ciencias biomédicas, sobre temas que incluyen la secuenciación e identificación de polimorfismos, el análisis de la genotipificación y expresión, genómica poblacional, y enfermedades multifactoriales. El INMEGEN también ha organizado los dos primeros Congresos Nacionales de Medicina Genómica, con la asistencia de oradores de renombre mundial.

Además de desarrollar una base de recursos humanos en materia de ciencias genómicas y medicina genómica, el INMEGEN está desarrollando su capacidad para realizar investigación e instrucción sobre ELSI. Esto incluye la creación de un centro de investigación sobre las implicaciones éticas, legales y sociales de la medicina genómica. El centro propuesto es parte de una colaboración con la Organización Panamericana de la Salud y la Organización Mundial de la Salud, e incluye la capacitación de recursos humanos en bioética, la realización de proyectos de investigación que analicen la bioética en el contexto de la medicina genómica, y la supervisión de todos los aspectos éticos, legales y sociales de la investigación que se lleva a cabo en el INMEGEN[7].

El INMEGEN está estableciendo colaboraciones entre México y otros países latinoamericanos, una extensión natural dadas la historia cultural e idioma que comparten. La creación del INMEGEN ha despertado el interés por las plataformas genómicas propias en otros países de la región que quizás no tengan actualmente los recursos necesarios para establecer dichos programas, pero que podrían tener fondos suficientes para contratar al INMEGEN para desarrollar un mapa de su diversidad genómica. De acuerdo con nuestros informantes clave del INMEGEN, varios países latinoamericanos están interesados en establecer alianzas gubernamentales con los servicios que proporciona el INMEGEN. De esta manera, el INMEGEN podría actuar como centro de diversas redes de medicina genómica humana que pueden ser muy benéficas en la medida en que ayudarían a otros países latinoamericanos a entender sus necesidades de salud pública y desarrollar terapias genómicas sin la necesidad de duplicar la inversión inicial ya realizada por México.

El INMEGEN también colabora con instituciones, organizaciones y personas de países industrializados, consistente con su estrategia de crear vínculos duraderos con instituciones con las que comparte el objetivo de desarrollar aplicaciones genómicas para mejorar la salud humana. Estas alianzas son estratégicas porque le permiten al Instituto participar activamente en las decisiones de investigación y de políticas que con frecuencia son ideadas por los países desarrollados en el escenario internacional. El INMEGEN reconoce que esta es una oportunidad ideal para actuar como puente en las colaboraciones norte-sur en representación de toda Latinoamérica. Sus colaboradores actuales incluyen a Nestlé (Sede Internacional), Genoma España, la Iniciativa de Farmacogenética para todas las Naciones, el Instituto de Investigaciones en Genómica Traslacional,

©2008 Macmillan Publishers Limited. All rights reserved

la Universidad de Johns Hopkins, el Broad Institute, el Consorcio Pan-Asiático de SNPs de la Organización del Genoma Humano, y el Proyecto Poblacional Público en Genómica.

Retos del INMEGEN

La sustentabilidad a largo plazo del INMEGEN dependerá de la manera en que el Instituto enfrente los retos en varias áreas.

Recursos humanos. La escasez de profesionales capacitados que puedan trabajar en investigación y desarrollo en medicina genómica y en farmacogenómica y ética seguirá siendo un desafío a medida que el INMEGEN expanda su capacidad. En una era en que la importancia del capital humano se reconoce ampliamente, la capacidad de retener el talento local y posiblemente repatriar a científicos mexicanos que viven en el extranjero para revertir la fuga de cerebros,[23,24] es esencial. En el INMEGEN se nos informó que se esforzarán para participar en la diáspora científica mexicana aprovechando los paquetes de repatriación que se ofrecen a través del CONACYT. El INMEGEN recibe apoyo de la Fundación Mexicana para la Salud (FUNSALUD) para ofrecer bonos por reclutamiento, y recientemente firmó un acuerdo con Nestlé para establecer la Cátedra Nestlé de Nutrigenómica, la cual ofrece un salario competitivo y gastos de reubicación. El acuerdo entre el INMEGEN y Nestlé también incluye financiamiento para otorgar dos becas a mexicanos candidatos a estudios de posgrado o postdoctorado para que se capaciten en el extranjero con la intención de regresar al INMEGEN. Con 120 empleados en la actualidad, el INMEGEN tiene programado aumentar esta cifra a 400 empleados para el año 2012.

Necesidad de medidas del éxito. Dado que la medicina genómica está aún en sus etapas iniciales, no existe un acuerdo sobre los criterios con los cuales debe medirse el éxito de una institución como el INMEGEN. Habrá que esperar mucho tiempo para que los resultados del esfuerzo de genotipificación a gran escala se traduzcan en intervenciones o productos en materia de salud. Dentro del contexto del gasto mexicano en ciencia, el INMEGEN recibió una sustancial suma de dinero ($125 millones) del gobierno mexicano. Tal inversión en una sola institución cuando el gasto de México en R&D representa tan solo el 0.33% de su PIB total[2] se ha percibido como un acaparamiento de los recursos limitados para R&D. Además, existe un claro conflicto entre los genetistas académicos que tienen una formación tradicional y que entienden el éxito en términos de las publicaciones revisadas por pares y las citaciones, y la nueva generación de científicos genómicos que tienen en mente parámetros adicionales, como la construcción de infraestructura y la capacitación de recursos humanos. No es sorprendente que la realidad de una inversión a largo plazo constituya tierra fértil para el escepticismo y los malentendidos, lo que conduce a la percepción de algunos de los informantes clave de que quizás no sea posible cumplir todos los objetivos. Sin embargo, el plan estratégico del INMEGEN también refleja un cambio más global en el pensamiento, de un enfoque puramente académico de la investigación en genética humana a un enfoque más amplio que incluye alianzas entre los sectores público y privado y transferencia tecnológica. En consecuencia, las soluciones requerirán la validación de criterios de éxito novedosos — lo que aumentará sustancialmente el número de publicaciones de gran impacto revisadas por pares del INMEGEN y demostrará que un aumento en el número de patentes e incubadoras de negocios se traduce en beneficios tangibles para la población mexicana.

Voluntad política. Las políticas del gobierno mexicano pueden cambiar cada 6 años después del inicio de cada nueva administración, lo que puede dificultar el logro de las metas de largo plazo del país. Además, el sistema de innovación más general dentro del cual se ubica el INMEGEN presenta varios obstáculos al aseguramiento de que la genómica y la S&T en general pueden mejorar la salud y el desarrollo de México. En enero de 2007, el recién electo gobierno de Felipe Calderón anunció un recorte presupuestal del 6.7% (incluida la inflación) en los recursos destinados a S&T[25], lo que llevó la inversión de México en S&T a su nivel más bajo en 20 años.

A la luz de los informes que indican que la S&T es una herramienta para el desarrollo nacional[26] y económico[26,28], este tipo de recorte presupuestal controvertido es un obstáculo para la creación de un ambiente que fomente el desarrollo y la adopción de tecnologías de salud que contribuyan a resolver los problemas pertinentes para las poblaciones del mundo en desarrollo. Aun cuando el INMEGEN no parece haber sido afectado por estas políticas en el corto plazo, alcanzar sus metas de largo plazo requerirá que el Instituto se asegure de contar con un financiamiento sustentable de largo plazo manteniendo una comunicación abierta con todos los partidos políticos, promoviendo las alianzas y colaboraciones con las personas e instituciones que objetan un presupuesto reorientado hacia el INMEGEN, y librando la batalla por un aumento en el presupuesto destinado a S&T.

La necesidad de marcos normativos. México ha promulgado legislación para proteger sus recursos genómicos[12], pero la aplicación de esta ley exigirá recursos humanos así como el desarrollo de mecanismos específicos. Por ejemplo, en calidad de centro nacional de referencia de medicina genómica, el INMEGEN necesitará continuar apoyándose en la actual Ley de Soberanía Genómica mencionada anteriormente, con el fin de que incluya un marco normativo que proporcione orientación específica en materia de la importación de productos futuros del extranjero derivados de la medicina genómica. ¿Exigirá el INMEGEN que dichos productos sean probados en los mexicanos dentro de estudios clínicos de Fases II y III? Actualmente no existen lineamientos formales establecidos por los Institutos Nacionales de Salud de México que exijan la recopilación de datos genómicos y farmacogenómicos durante los estudios clínicos.

Alfabetismo científico entre el público. Aún cuando las tasas de alfabetismo en México han llegado al 91%[29], el nivel de alfabetismo científico requerido para tener un mayor alcance, y para lograr la participación y educación del público, seguirá constituyendo un reto, a pesar de las herramientas con que se cuenta. A manera de ejemplo, la creación del INMEGEN se dio en un momento en que los medios de todo el mundo reportaban declaraciones en el sentido de que los científicos de Italia[30] y Corea[31] estaban clonando seres humanos. Estos reportes de los medios, junto con la enmienda a las leyes que rigen a los Institutos Nacionales de Salud de México con el fin de permitir la investigación con células madre embrionarias y la clonación terapéutica[32], dio alas tanto a inquietudes como a imprecisiones que incluyeron la creencia, entre los seguidores de la Iglesia Católica Romana, de que el INMEGEN iba a realizar investigaciones que involucraban células madre embrionarias y clonación. También notamos que los activistas ambientalistas, junto con los defensores de los derechos de los indígenas, desconfían del gobierno y son escépticos de los avances de S&T, pues los consideran como una forma más de imposición occidental destinada a destruir el modo de vida de los indígenas. Aun cuando el INMEGEN disipó exitosamente las inquietudes de la Iglesia, el Instituto tendrá que seguir desarrollando una estrategia de compromiso público más robusta, enfocada en la educación del público y que demuestre que la medicina genómica proporciona beneficios concretos a las poblaciones indígenas.

©2008 Macmillan Publishers Limited. All rights reserved

Comentarios Finales

En 2005, un grupo de expertos de las naciones industrializadas se reunió en Bellagio, Italia, para desarrollar un consenso sobre la estructura necesaria para "la traducción efectiva de la ciencia y la tecnología basadas en la genómica en una mejor salud poblacional", con frecuencia conocida como genómica de la salud pública[33]. El grupo concluyó que eran necesarias cuatro actividades centrales: informar a las políticas públicas, desarrollar y evaluar servicios de salud preventivos y clínicos, comunicación y compromiso de las partes interesadas, y educación y capacitación. El INMEGEN está activo en cada una de estas áreas e ilustra el liderazgo de México en calidad de una economía emergente innovadora comprometida con el desarrollo y realización de la genómica de la salud pública. La inversión inicial del gobierno mexicano de $125 millones de dólares en el INMEGEN expresa su compromiso con este esfuerzo. Sin embargo, como consecuencia de ello el INMEGEN está en gran medida manejado por el gobierno, y por ende sustentar este compromiso será crucial— debido a que el INMEGEN seguirá siendo costoso de mantener en el largo plazo.

La fortaleza real del INMEGEN radica en demostrar la manera de vincular una organización de R&D en medicina genómica que cuenta con recursos y está integrada verticalmente (con una incubadora de negocios y una unidad ELSI) con un sistema nacional de salud con el fin de proporcionar una genómica de la salud pública. Dentro de este modelo, ofrecen numerosas lecciones: la importancia de la voluntad y el liderazgo políticos; la generación de conocimientos pertinentes para las necesidades de salud locales; el trabajo con el sector privado para asegurarse de que la traducción del conocimiento genómico pueda convertirse en productos y servicios; el involucramiento con el público desde el principio para crear una cultura genómica y la aceptación de los productos y servicios futuros; el fomento de colaboraciones norte-sur y sur-sur; y la integración de las cuestiones éticas, legales y sociales dentro del desarrollo de la genómica desde el inicio. El INMEGEN apenas está empezando y, hasta el momento, ha cumplido con sus objetivos iniciales. Los siguientes años serán cruciales para el INMEGEN a medida que intente ilustrar la manera en que es posible lograr sucesivamente salud pública, desarrollo económico y competitividad mundial.

Billie-Jo Hardy, Béatrice Séguin, Peter A. Singer y Abdallah S. Daar laboran en McLaughlin-Rotman Centre for Global Health, dentro del Programa de Ciencias de la Vida, Ética y Política, University Health Network and University of Toronto, MaRS Centre, South Tower, Suite 406, 101 College Street, Toronto, Ontario M5G 1L7, Canada.

Béatrice Séguin también forma parte de Leslie Dan Faculty of Pharmacy, University of Toronto, 144 College Street, Toronto, Ontario M5S 3M2, Canada. Peter A. Singer y Abdallah S. Daar también están en McLaughlin Centre for Molecular Medicine, MaRS Centre, Toronto Medical Discovery Tower, Suite 701, 101 College Street, Toronto, Ontario M5G 1L7, Canada. Toda correspondencia debe dirigirse a A.S.D. e-mail: a.daar@utoronto.ca

doi:10.1038/nrg2442

1. Boutayeb, A. The double burden of communicable and non-communicable diseases in developing countries. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* **100**, 191–199 (2006).
2. Foro Consultivo Científico y Tecnológico. Propuesta de una ley de Ciencia, Tecnología e Innovación. [online], < http://www.foroconsultivo.org.mx/documentos/ley_ctei/segundo_borrador_agosto_2007.pdf > (2007) (in Spanish).
3. Séguin, B. & Hardy, B, Singer, P. A. & Daar, A. S. Human genomic variation initiatives in emerging economies and developing countries. *Nature Rev. Genet.* **9** (Suppl), S3–S4 (2008).
4. Séguin, B. & Hardy, B, Singer, P. A. & Daar, A. S.Genomic medicine and developing countries: creating a room of their own. *Nature Rev. Genet.* **9**, 487–493 (2008).
5. Jimenēz-Sánchez, G. Programa de Trabajo para Dirigir el Instituto Nacional de Medicina Genómica 2004–2009. INMEGEN [online], < http://www.inmegen.gob.mx/images/stories/publicaciones/pdf/prog_trab0409.pdf > (2004).
6. Jimenēz-Sánchez, G. Developing a platform for genomic medicine in Mexico. *Science* **300**, 295–296 (2003).
7. Jimenēz-Sánchez, G. & Lara, C. in Panorama Internacional en Salud y Derecho. *Culturas y Sistemas Jurídicos Comparados* (ed. Brena-Sesma, I.) 391 (National Autonomous University of Mexico, Mexico City, Mexico, 2007) (in Spanish).
8. Daar, A. S. & Singer, P. A. Pharmacogenetics and geographical ancestry: implications for drug development and global health. *Nature Rev. Genet.* **6**, 241–246 (2005).
9. Abecasis, G. *et al.* Human Genome Variation 2006: emerging views on structural variation and large-scale SNP analysis. *Nature Genet.* **39**, 153–155 (2007).
10. Redon, R. *et al.* Global variation in copy number in the human genome. *Nature* **444**, 444–454 (2006).
11. Becerril, A. Aprueba el Senado sanciones a quienes trasladen tejido humano fuera de México. *La Jornada* [online], < *http://www.jornada.unam.mx/2008/03/28/index.php?section=sociedad&article=046n1soc* > (2008) (in Spanish).
12. Genomics and Benefits Share. *Parliamentary Gazette* IX, No 1953 (2006).
13. Organisation for Economic Co-operation and Development. How Does Mexico Compare? *OECD Health Data 2008* [online], < http://www.oecd.org/dataoecd/46/9/38980018.pdf > (2008).
14. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Información estadística. [online], < http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=mpob45&c=32 > (2008) (in Spanish).
15. Lara-Alverez, C. *et al.* Ethical, legal and social aspects of the Mexican Genomic Variability Project. INMEGEN [online], < http://www.inmegen.gob.mx/images/stories/publicaciones/memorias/hugo2007/lara.pdf > (2007).
16. Dalton, R. When two tribes go to war. *Nature* **430**, 500–502 (2004).
17. Dalton, R. Tribe blasts 'exploitation' of blood samples. *Nature* **420**, 111 (2002).
18. Hakimian, R. & Korn, D. Ownership and use of tissue specimens for research. *JAMA* **292**, 2500–2505 (2004).
19. Schmidt, C. W. Indi-gene-ous conflict. *Environ. Health Perspect.* **109**, A216–A219 (2001).
20. Frew, S. E., Sammut, S. M., Siu, W. W., Daar, A. S. & Singer, P. A. The role of the domestic private sector in developing countries for addressing local health needs. *Int. J. Biotech.* **8**, 91–102 (2006).
21. Solleiro, J. L. & Briseno, A. Propiedad intelectual II: el caso de la biotecnología en México. *Interciencia* **28**, No 2, 90–94 (2003) (in Spanish).
22. Hidalgo-Miranda, A. *et al.* Proyecto mapa genómico de los Mexicanos. *Ciencia y Desarrollo* **32**, 191 (2006) (in Spanish).
23. Séguin, B., State, L., Singer, P. A. & Daar, A. S. Scientific diasporas as an option for brain drain: re-circulating knowledge for development. *Int. J. Biotech.* **8**, 78 (2006).
24. Séguin, B., Singer, P. A. & Daar, A. S. Science community: scientific diasporas. *Science* **312**, 1602–1603 (2006).
25. Barba, A. México reduce en 6.7% su presupuesto a ciencia. *SciDev Net* [online], < http://www.scidev.net/es/latin-america-and-caribbean/news/mxico-reduce-en-67-su-presupuesto-a-ciencia.html > (2007) (in Spanish).
26. United Nations Development Program. *Human Development Report: Making New Technologies Work for Human Development* (Oxford University Press, New York, 2001).
27. Juma, C. & Yee-Cheong, L. Reinventing global health: the role of science, technology, and innovation. *Lancet* **365**, 1105–1107 (2005).
28. Acharya, T., Daar, A. S. & Singer, P. A. Biotechnology and the UN's Millennium Development Goals. *Nature Biotechnol.* **21**, 1434–1436 (2003).
29. United Nations Development Programme. The Human Development Index — Going Beyond Income. [online], < http://hdrstats.undp.org/countries/country_fact_sheets/cty_fs_MEX.html > (2008).
30. Young, E. & Carrington, D. Cloning pregnancy claim prompts outrage. *New Scientist News Service* [*online*], < http://www.newscientist.com/article.ns?id=dn2133 > (2002).
31. Baker, M. Report casts doubt on Korean experiment. *Science* **283**, 617– 619 (1999).
32. Bosch, X. Mexico to Open Genome Center. *Genome Biology Research News* [online], < http://genomebiology.com/researchnews/default.asp?arx_id=gb-spotlight-20040805–02 > (2004).
33. Burke, W., Khoury, M. J., Stewart, A., Zimmern, R. L. & Bellagio Group. The path from genome-based research to population health: development of an international public health genomics network. *Genet. Med.* **8**, 451–458 (2006).

Reconocimientos

Deseamos agradecer a F. Salamanca-Buentello y a M. Maliakkal por sus comentarios durante la realización de este trabajo. Este proyecto fue financiado por Genome Canada a través de Ontario Genomics Institute. El Programa de Ciencias de la Vida, Ética y Política de McLaughlin-Rotman Centre for Global Health, recibe el apoyo primordialmente de Genome Canada a través de Ontario Genomics Institute, Ontario Research Fund, y Bill and Melinda Gates Foundation. Los demás socios pareados se enumeran en el sitio web de The McLaughlin-Rotman Centre for Global Health. A.S.D. y P.A.S. reciben el apoyo de McLaughlin Centre for Molecular Medicine. P.A.S. recibe apoyo del premio al Investigador Distinguido otorgado por Canadian Institutes of Health Research.

Declaración de intereses competidores

Los autores declaran tener intereses financieros competidores; consulte la versión en Internet para conocer los detalles.

PARA INFORMACIÓN ADICIONAL

McLaughlin-Rotman Centre for Global Health: http://www.mrcglobal.org

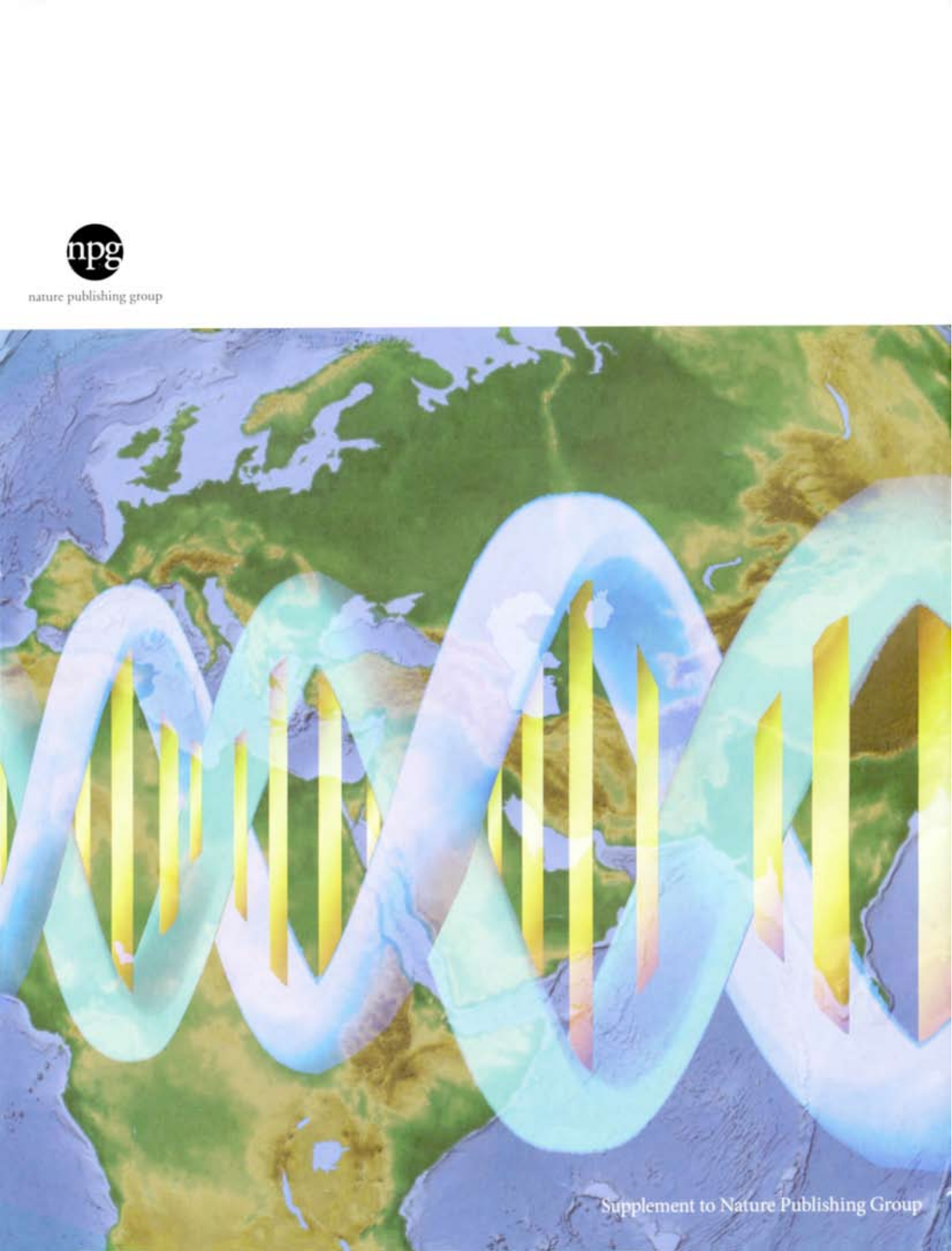
Página web de historietas del INMEGEN: http://www.inmegen.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=663&Itemid=0

Incubadora de negocios del INMEGEN: http://www.inmegen.gob.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=405&Itemid=275

Instituto Nacional de Medicina Genómica (INMEGEN): http://www.inmegen.gob.mx

TODOS LOS LINKS ESTÁN ACTIVOS EN LA VERSIÓN EN PDF CONSULTADA EN LÍNEA

©2008 Macmillan Publishers Limited. All rights reserved


npg
nature publishing group
Supplement to Nature Publishing Group