



El avance de la biotecnología presenta posibilidades oscuras. Los terroristas pueden desarrollar armas biológicas. Lo que es peor, las ciencias biológicas podrían aportar a los criminales la capacidad de manipular los procesos fundamentales de la vida e incluso afectar el comportamiento humano.

El Conocimiento

Por Mark Williams



En 1973, el creador de armas soviético, Serguei Popov, era estudiante en Novosibirsk, Siberia

El año pasado, un científico agradable y consumado llamado Serguei Popov, que durante casi dos décadas desarrolló armas biológicas genéticamente modificadas para la Unión Soviética, cruzó el río Potomac para participar como orador en una conferencia acerca del bioterrorismo en Washington, DC.

Popov, ahora profesor en el Centro Nacional para Biodefensa y Enfermedades Infecciosas (National Center for Biodefense and Infectious Diseases) en la Universidad George Mason, es bastante alto, de cejas puntiagudas y pómulos eslavos y, a los 55, su cabello luce entre un color arena y un jengibre apagado. Tiene una mirada abierta, lúcida y habla de manera suave y cortés. Su carrera profesional ha sido inusual según los parámetros convencionales. De estudiante en su ciudad natal de Novosibirsk, capital de Siberia, mientras preparaba su tesis sobre la síntesis del ADN, leía las más recientes publicaciones en inglés sobre la nueva biología molecular. Después de obtener su doctorado en 1976, comenzó a trabajar para Biopreparat, la agencia farmacéutica soviética que desarrollaba secretamente armas biológicas. Allí, se convirtió en jefe de departamento en un programa integral para modificar genéticamente armas biológicas. Cuando se fundó el programa en los años setenta, su meta consistía en mejorar los agentes clásicos de guerra biológica para aumentar la patogenicidad y resistencia a antibióticos; alrededor de los años ochenta, consistía en crear nuevas especies de patógenos que inducirían síntomas totalmente nuevos en sus víctimas.

En 1979, Popov pasó seis meses en Cambridge, Inglaterra, estudiando las tecnologías de la secuenciación y síntesis de ADN automatizadas que estaban emergiendo en Occidente. Para esa visita a Inglaterra, según me ha dicho Popov, fue necesario hacer determinados planes: “Poseía secretos de estado, de modo que no podía viajar al exterior sin una decisión especial del Comité Central del Partido Comunista. Se creó para mí una leyenda especial, esencialmente, que yo era un científico común”. La “leyenda” que proporcionaron los superiores de Popov fue útil en 1992, después de que cayó la U.S.S.R. Cuando el estado ruso dejó de pagar los salarios, entre los afectados se encontraban los 30.000 científicos de Biopreparat. En bancarrota, con una familia a la cual alimentar, Popov se puso en contacto con

.....
EDITOR'S NOTE: *Conscious of the controversial nature of this article, Technology Review asked Allison Macfarlane, a senior research associate in the Technology Group of MIT's Security Studies Program, to rebut its argument: see "Assessing the Threat," page 34. We were also careful to elide any recipes for developing a biological weapon. Such details as do appear have been published before, mainly in scientific journals.*

CORTESÍA DE SERGUEI POPOV

sus amigos británicos, quienes tramitaron la financiación de la Royal Society, de modo que él pudiese dedicarse a la investigación en el Reino Unido. La KGB (cuyo control era en cualquier caso limitado por entonces) le permitió abandonar Rusia. Popov nunca regresó. En Inglaterra, estudió el VIH durante seis meses. En 1993, se trasladó al Centro Médico del Sudoeste de la Universidad de Texas (University of Texas Southwestern Medical Center), desde donde envió dinero para que su esposa e hijos pudiesen seguirlo. Permaneció en Texas hasta el año 2000, sin llamar demasiado la atención.

“Cuando llegué a Texas, decidí olvidarlo todo”, me ha dicho Popov. “Durante siete años eso fue lo que hice. Ahora es diferente. No porque me guste hablar de ello. Pero todos los días veo en las publicaciones que nadie sabe lo que se ha hecho en la Unión Soviética y lo importante que ha sido ese trabajo”.

Aunque la presencia de Popov en la conferencia de Washington del año pasado sirva de indicio, será muy difícil convencer a los políticos y científicos de la relevancia de los logros de los creadores de armas biológicas soviéticas. No fue solo que la audiencia de Popov en la cámara de altos techos de un edificio de oficinas del Senado considerara las aplicaciones ingeniosas de ciencia biológica moralmente repugnantes y técnicamente abstrusas. Más bien, lo que dijo Popov estuvo tan fuera de las disputas actuales sobre biodefensa que sonó como si viniese de otro planeta.

Los otros oradores de la conferencia se concentraron en el boom del gasto estadounidense en biodefensa desde los ataques del 11 de septiembre de 2001, y el temor al carbunco (anthrax) de ese mismo año. El bacteriólogo Richard Ebright, profesor de química y biólogo químico en la Universidad Rutgers, dejó ver su irritación por el enorme incremento de becas para estudiar tres de los agentes bacterianos de categoría A (es decir carbunco, peste y tularemia) que utilizan dinero de las investigaciones básicas para luchar contra las epidemias existentes. Ebright (quien había convencido a otros 758 científicos de que firmaran una carta de protesta para Elias Zerhouni, director de los Institutos Nacionales de la Salud [National Institutes of Health o NIH]) también manifestó que al diseminar de forma promiscua el conocimiento sobre las armas biológicas y las muestras de patógenos a laboratorios de biodefensa recientemente creados en los Estados Unidos, “los NIH estaban financiando un brazo de investigación y desarrollo de al-Qaeda”. Otro orador, Milton Leitenberg, presentado como uno de los grandes hombres del control de armas, se mostró incluso más irritado. La obsesión actual con el bioterrorismo, insistió el arrugado y benévolo Leitenberg, no tiene sentido; los antecedentes demostraron que prácticamente todas las armas biológicas habían sido construidas por gobiernos estatales y fuerzas militares.

Dichas disputas tienen su fundamento. De modo que ¿por qué entonces las declaraciones de Serguei Popov sobre lo que probaban los rusos en el reino esotérico de los bioarmamentos modificados genéticamente, usando biotecnología pregenómica, importan ahora?

Importan porque los logros de los rusos nos indican lo que es posible. Por lo menos parte de lo que los creadores de armas biológicas soviéticas hicieron con dificultad y gasto puede hacerse ahora fácil y económicamente. Y todo lo que lograron se puede duplicar con tiempo y dinero. Vivimos en un mundo donde los equipos para secuenciación génica de segunda mano obtenidos en eBay y el material biológico desregulado enviado en un sobre de FedEx proporcionan los medios para crear armas biológicas

¿Construir o comprar?

Existe un consenso cada vez mayor de que la biotecnología, especialmente, la tecnología para sintetizar secuencias de ADN cada vez más grandes, ha avanzado hasta el punto en que los terroristas y los furiosos estados podrían crear patógenos nuevos y peligrosos.

En febrero, un informe del Instituto de Medicina y Consejo de Investigación Nacional de las Academias Nacionales (*Institute of Medicine and National Research Council of the National Academies*) titulado “Globalización, Bioseguridad y Futuro de las Ciencias Biológicas” argumentaba, “En el futuro, la ingeniería genética y otras tecnologías podrán conducir al desarrollo de organismos patógenos con características únicas e impredecibles”. Meditando sobre la posibilidad de estos patógenos recombinantes, los autores destacan: “No es del todo irrazonable anticipar que [estas] amenazas biológicas serán cada vez más demandas...y utilizadas para la guerra, el terrorismo y fines criminales, y por parte de individuos, grupos o naciones cada vez menos sofisticados y de menos recursos. El informe concluye: “Tarde o temprano, es razonable esperar la aparición de biopiratas”.

Los criminales tendrían más dificultad para robar o comprar los agentes clásicos de guerra biológica que para sintetizar nuevos. En el año 2002, después de todo, un grupo de investigadores desarrolló un virus de la poliomyelitis, utilizando una secuencia genética de Internet y oligonucleótidos solicitados por correo (moléculas de ADN sintetizadas automáticamente de no más de aproximadamente 140 bases cada una) de compañías de síntesis comerciales. En ese momento, el líder del grupo, Eckard Wimmer, de la Universidad Estatal de Nueva York en Stony Brook, advirtió que la tecnología para sintetizar el genoma mucho más grande de variola, es decir, el virus de la viruela mortal, aparecería dentro de 15 años. De hecho, apareció antes:

diciembre de 2004, con el anuncio de un sintetizador de ADN de alto rendimiento que podría reproducir 186.000 pares de bases en 13 pasadas.

La posibilidad de que los terroristas obtengan acceso a dicha tecnología de punta es inquietante. Pero solo algunos han manifestado públicamente que la creación de determinados tipos de microorganismos recombinantes usando equipos más antiguos, hoy en día disponibles a un costo reducido en eBay y en los mercados electrónicos para equipos científicos como LabX, ya es factible. La reacción de la comunidad biomédica a todo esto ha sido una vacilación general (Los signatarios al informe de las Academias Nacionales son una excepción). La cautela, la negación y una falta de conocimiento acerca de los bioarmamentos parecen ser responsables en partes iguales. Jens Kuhn, virólogo de la Escuela de Medicina de Harvard, me dijo: “Los rusos hicieron mucho en su programa de armas biológicas. Pero la mayoría no ha sido publicado, de modo que no sabemos lo que ellos saben”.

Una tarde de invierno del año pasado, con la esperanza de descubrir lo que habían hecho los rusos, me subí a la

al “joven científico”. “Sí”, respondió. “Ése era yo”.

Después de leer Biohazard, Popov se puso en contacto con Alibek y le dijo que él también había llegado a América. Popov se mudó a Virginia por la empresa de Alibek, Advanced Biosystems y fue interrogado por inteligencia de los Estados Unidos. En el año 2004, asumió su cargo actual en el National Center for Biodefense, donde Alibek es un profesor distinguido.

En cuanto al progreso de la biotecnología, Popov me dijo, “Parece para la mayoría algo que sucede en pocos lugares, pocos laboratorios. Pero hoy el conocimiento se está difundiendo”. Asimismo, señaló, es conocimiento falso en sus aplicaciones potenciales. “Cuando preparo mis conferencias sobre ingeniería genética, en cualquier cosa que abro veo las posibilidades de hacer daño o usar las mismas cosas para hacer un bien, -crear un arma biológica o crear un tratamiento contra una enfermedad”.

La “nueva clase de armas” que Alibek describe que creó Popov en Biohazard es un caso puntual. En una bacteria relativamente inocua responsable de neumonía de baja mortalidad, Legionella, pneumophila, Popov y sus investigado-

Parte de lo que los creadores de armas biológicas soviéticas hicieron con dificultad y gasto puede hacerse ahora fácil y económicamente. Y todo lo que lograron se puede repetir con tiempo y dinero.

Autopista 15 en Virginia para visitar a Serguei Popov en el campus de Manassas de la Universidad George Mason. Popov vino al Centro Nacional para la Biodefensa (National Center for Biodefense) después de comprar un libro llamado Biopeligro (Biohazard) en el 2000. Ésta era la autobiografía de Ken Alibek, el ex-subjefe de Biopreparat, su científico líder, y el último jefe de Popov. Uno de sus pasajes describía cómo, en 1989, Alibek y otros jefes soviéticos habían asistido a una presentación de un “joven científico” sin nombre del complejo de investigación bacteriana de Biopreparat en Obolensk, sur de Moscú. Después de esta presentación, Alibek escribió, “la sala estaba absolutamente silenciosa. Todos reconocimos las implicancias de lo que el científico había logrado. Una nueva clase de arma había sido descubierta. Por primera vez, seríamos capaces de producir armas basadas en sustancias químicas producidas naturalmente por el cuerpo humano. Podrían dañar el sistema nervioso, alterar los estados de ánimo, desencadenar cambios psicológicos e incluso matar”.

Cuando Popov leyó eso, le pregunté si había reconocido

res empalmaron ADN mamífero que expresaba fragmentos de proteína mielina, la capa grasa eléctricamente aislante que cubre nuestras neuronas. En animales de prueba, la infección de neumonía aparecía y desaparecía, pero los fragmentos de mielina transmitidos en la Legionella recombinante estimulaban el sistema inmunitario de los animales a leer su propia mielina natural como patógena y a atacarla. La consecuencia fue daño cerebral, parálisis y casi 100 por ciento de mortalidad: Popov había creado un arma biológica que en efecto desencadenó rápidamente esclerosis múltiple. (Las declaraciones de Popov se pueden corroborar: en los últimos años, los científicos que investigan tratamientos para esclerosis múltiple han empleado métodos similares en animales de prueba con resultados similares).

Cuando pregunté sobre las perspectivas de crear armas biológicas a través de biología sintética, Popov mencionó el virus de la poliomielitis sintetizado en el año 2002. “Gente muy destacada como [Anthony] Fauci et al en los NIH declaró: “Ahora sabemos que se puede hacer”. Popov hizo una pausa. “Saben, eso es...ingenuo. En 1981, describí cómo

llevar a cabo un proyecto para sintetizar virus pequeños pero biológicamente activos. Nadie en Biopreparat tenía siquiera una pequeña duda de que se podía hacer. No teníamos sintetizadores de ADN por entonces. Yo tenía a 50 personas realizando síntesis de ADN manualmente, paso a paso. Un paso duraba aproximadamente tres horas, cuando hoy, con el sintetizador, podría durar unos pocos minutos, podría durar menos de un minuto. No obstante, ya la idea era que produciríamos un virus por mes”.

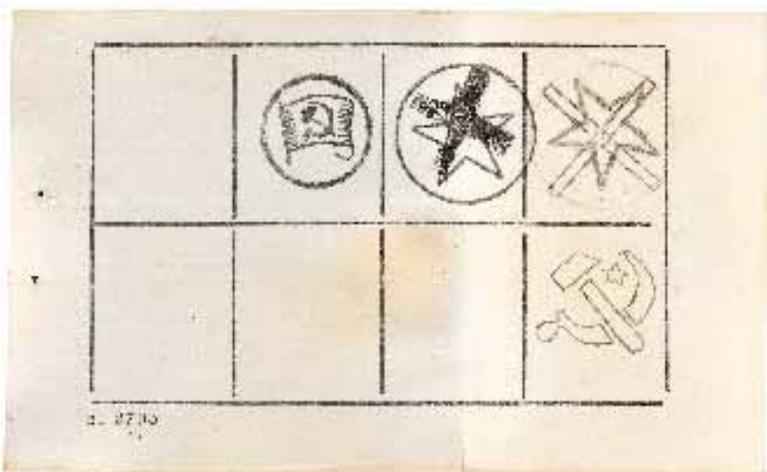
En efecto, afirmó Popov, Biopreparat tenía algunas restricciones acerca de los recursos humanos. “Si querías involucrar a cien personas, eran cien. Si mil, eran mil”. Es un panorama alarmante: un programa industrial que consumía toneladas de productos químicos y formaba grandes cantidades de biólogos para construir, durante meses, unos cientos de bases de un gen que se codificaba para una sola proteína.

Si bien algunos descartan los esfuerzos pioneros de Biopreparat porque los rusos confiaban en la tecnología que ahora es anticuada, es esto lo que los convierte en una buena guía para lo que podría hacerse hoy con la biotecnología ampliamente disponible y económica. El empalme en genes mamíferos sintetizados de patógenos que codifican las cadenas cortas de aminoácidos denominados péptidos (es decir, genes de 100-300 bases de largo) estuvo fácilmente dentro del alcance de las capacidades de síntesis de ADN de Biopreparat. Los esfuerzos en esta escala son fácilmente reproducibles con las herramientas actuales.

Lo que hicieron los rusos

El programa de armas biológicas soviéticas fue vasto y laberíntico; ni siquiera Ken Alibek, su gerente científico principal, lo sabía todo. Para determinar el grado de sus logros – y por lo tanto el peligro que poseen los pequeños grupos armados con tecnología moderna – dependemos en algún punto de la versión de las cosas de Serguei Popov. Ya que sus declaraciones son tan controvertidas, es necesario responder a una pregunta: Muchas personas (tal vez la mayoría) preferirían creer que Popov miente; ¿lo hace?

La afiliación de Popov con Alibek es un golpe contra él mismo en el Instituto de Investigaciones Médicas de Enfermedades Infecciosas del Ejército de los Estados Unidos (*U.S Army Medical Research Institute of Infectious Diseases*) (*Usamriid*) en Fort Detrick, MD, donde el ex-primer



Se estamparon códigos de acceso en la identificación de Biopreparat de Serguei Popov

científico tiene sus críticos. Alibek, una persona con conocimientos, me dijo, “ingresó al negocio de los cuentos cuando llegó a América”. Los críticos de Alibek lo acusan de que como recibió honorarios por asesoramiento mientras instruía a científicos y funcionarios estadounidenses, exageró los logros de la técnica de armamentos biológicos. En particular, algunos críticos rechazan las declaraciones de Alibek acerca de que la U.S.S.R. había combinado Ébola y otros virus con el fin de crear lo que Alibek denomina “quimeras”. La tecnología necesaria, insisten, todavía no existía. Cuando entrevisté a Alibek en el 2003, sin embargo, fue inflexible en que Biopreparat había convertido al virus del Ébola en un arma.

Alibek y Popov obviamente tienen interés en hablar de las armas biológicas rusas. Pero ni yo, ni otras personas con las que comparé notas, hemos descubierto una sola falsa afirmación de Popov. No obstante, uno debe escucharlo atentamente. En relación con las quimeras de Ébola, me comentó cuando lo entrevisté por primera vez en el 2003, “Puedes especular acerca de una combinación de peste-Ébola. Sé

COURTESY OF SERGUEI POPOV

que quienes llevan adelante el programa de armas biológicas soviético estudiaron esa posibilidad. Puedo hablar con certeza acerca de una síntesis de peste y encefalitis equina venezolana porque conozco al hombre que la creó”. Popov describió entonces una estrategia soviética para ocultar genes víricos mortales dentro de algún genoma de bacteria más ligero, de modo que el tratamiento médico de los síntomas iniciales de una víctima por un microbio desencadenaría una segunda proliferación microbiana. “El primer síntoma podría ser una peste, y la fiebre de la víctima se trataría con algo tan simple como tetraciclina. Esa tetraciclina en sí misma sería el factor inductor de expresión de un segundo conjunto de genes, que podrían ser un virus completo o una combinación de genes víricos”.

En síntesis, Popov indicó que una combinación de peste-ébola era teóricamente posible y que los científicos soviéticos habían estudiado esa posibilidad. Luego, dio otra vuelta de tuerca: Biopreparat había investigado recombinantes que efectivamente convertirían a sus víctimas en bombas de Ébola ambulantes. Le había preguntado a Popov sobre el panorama de algunos de los escenarios de los peores casos, de modo que no me puedo quejar de que me estuviese engañando - pero los rusos verdaderamente nunca crearon la combinación peste-Ébola.

Un testimonio más para Popov: el hombre en sí mismo está hecho de una sola pieza. Recordando su juventud en Siberia, me dijo, “Creía en el futuro, la idea total del socialismo, la equidad y la justicia social. Temía profundamente a los Estados Unidos, las agresivas fuerzas armadas militares, el capitalismo - todo eso era profundamente atemo-

dentemente la rareza de las armas biológicas recombinantes. Dado que la genética y la biología molecular fueron prohibidas como “ciencia burguesa” en la U.S.S.R hasta principios de 1960, Popov estuvo entre la primera generación de graduados universitarios soviéticos en crecer con la nueva biología. Cuando comenzó a trabajar por primera vez en el Centro de Investigaciones Estatales de Virología y Biotecnología (State Research Center of Virology and Biotechnology o Vector), la instalación de investigación vírica más importante de Biopreparat cercana a Novosibirsk, no entendió inmediatamente que había ingresado al negocio de las armas biológicas. “Nadie habló sobre armas biológicas”, me dijo. “Simplemente, se suponía que era investigación pacífica, que sería la transición de ciencia pura a una nueva industria microbiológica”. Sin embargo, las cuestiones avanzaron. “Tu jefe dice: _Nos gustaría que formaras parte de un proyecto muy interesante’. Si te niegas, es el fin de tu carrera. Dado que yo por entonces era ambicioso, avancé más y más. Inicialmente, tenía una docena de personas a mi cargo. Pero al año siguiente tenía a todo el departamento de cincuenta personas”.

En 1979, Popov recibió órdenes de comenzar una investigación en la que la codificación de pequeños genes sintetizados para la producción de beta-endorfinas - los neurotransmisores opioides producidos en respuesta al dolor, ejercicio y otras tensiones - se empalmarían en virus. Ostensiblemente, este trabajo apuntó a incrementar la virulencia de patógenos. Popov se encogió de hombros, al recordar esto. “¿Cómo podíamos aumentar la virulencia con endorfinas? Pero incluso, si algún superior te lo dice, tu

No es del todo irracional anticipar que las amenazas biológicas serán cada vez más buscadas y utilizadas en situaciones de guerra, terrorismo o actividad criminal de cualquier clase, por parte de grupos o naciones con pocos recursos o sofisticación tecnológica.

rizante”. Añadió, “Es difícil comunicar cómo la gente en la Unión Soviética pensaba entonces acerca de sí misma y cuánta excitación teníamos los jóvenes acerca de la ciencia”. El desarrollo de las armas biológicas fue una profesión en la que Popov se inició cuando tenía alrededor de veinte años de edad y que formó su vida y sus pensamientos durante años. Interrogarlo sobre las armas biológicas es producir una cascada de análisis de rutas y receptores específicos de señalización celular que podrían dirigirse a inducir efectos particulares, y cómo podría lograrse ese direccionamiento vía manipulación genética de patógenos. Popov no se explica, a menos que sea lo que declara ser.

Las investigaciones de Popov en Rusia sugieren contun-

lo haces”. Popov destacó que el superior particular que le asignó el proyecto, Igor Ashmarin, era también un biólogo molecular y, más tarde, un académico de la facultad de biología de la Universidad Estatal de Moscú. “El proyecto de Ashmarin sonaba irrealista pero no imposible. Los péptidos que él sugería eran cortos, y sabíamos cómo sintetizar el ADN”.

Los péptidos, tales como las beta-endorfinas, son las partes constituyentes de proteínas y no tienen más de 50 aminoácidos. La naturaleza explota su compactibilidad en contextos en los que la señalización tiene lugar con frecuencia y rápidamente - por ejemplo, en el sistema nervioso central, en donde los péptidos actúan como neurotransmisores.

Con 10 a 20 veces menos aminoácidos que una proteína promedio, los péptidos son producidos por secuencias de ADN correspondientemente más pequeñas, que los convertirían en buenos candidatos para síntesis que usan medios limitados de Biopreparat. Popov estableció un equipo de investigación para empalmar genes de expresión de endorfina sintética en distintos virus, infectando luego a los animales de prueba.

Aún entonces los animales permanecieron desafectados. “Teníamos la presión enorme de producir estas armas más letales”, explicó Popov. “Yo estaba a cargo de los nuevos proyectos. A menudo, el desarrollo del proyecto era mi responsabilidad, y si yo no podía, sería mi problema. No podía decir no lo haré, porque entonces, ¿qué ocurriría con mis hijos, con mi familia? Para apaciguar a sus jefes militares, Popov y sus investigadores pasaron a investigar los péptidos en lugar de las beta-endorfinas y descubrieron que, en realidad, los genes que portaban los microbios que expresaban la proteína mielina podrían provocar sistemas inmunitarios en animales que atacaran sus propios sistemas nerviosos centrales. Si bien el equipo de Vector utilizó esta técnica para aumentar la virulencia del virus Vaccinia, con

asociados con psicofarmacéuticos.

“Esencialmente, un patógeno es únicamente un vehículo”, respondió Popov.

“Esos vehículos están disponibles – se podría usar una enorme cantidad de patógenos para diferentes trabajos. Si el fármaco es una endorfina del tipo péptido, es simple. Si hablas de desencadenar la liberación de serotonina y dopamina, absolutamente posible. Para provocar la amnesia, esquizofrenia - sí, es teóricamente posible con patógenos. Si hablas de pacificación de una población subjetiva - sí, es posible. La beta-endorfina fue propuesta potencialmente como un agente de pacificación. Para químicos más complejos, se necesitarían todas las rutas biológicas que los producen. Construir las sería extremadamente difícil. Pero cualquier fármaco estimula receptores específicos, y es factible de diferentes maneras. De modo que en lugar de producir el fármaco, se inducen las consecuencias. Los patógenos podrían hacer eso, en principio”.

Los patógenos recombinantes psicotrópicos pueden sonar a ciencia ficción, pero los biólogos serios validan el análisis de Popov. El profesor de biología molecular de la Universidad de Harvard, Matthew Meselson, es, junto con

“Yo estaba a cargo de los nuevos proyectos. A menudo, el desarrollo del proyecto era mi responsabilidad, y si yo no podía, sería mi problema. No podía decir no lo haré, porque entonces, ¿qué ocurriría con mis hijos, con mi familia?”

la última meta de aplicarla a la viruela, Popov fue enviado a Obolensk para desarrollar el mismo planteamiento con bacterias. Incluso, me dijo, “Ahora sabemos que si hubiéramos continuado con el planteamiento original con beta-endorfinas, hubiésemos visto su efecto”.

Esta visión de armas biológicas sutiles que modificaban la conducta dirigiéndose al sistema nervioso – induciendo efectos como esquizofrenia temporal, amnesia, agresión, depresión o miedo paralizante – fue irresistiblemente atractiva para los científicos militares de mayor rango. Después de la desertión de Popov, la investigación continuó. En 1993 y 1994, dos artículos, co-publicados en revistas de ciencias rusas por Ashmarin y algunos de los colegas anteriores de Popov, describieron experimentos en los que las vacunas de tularemia recombinante producían exitosamente beta-endorfinas en animales de prueba y en consecuencia incrementaban sus umbrales de sensibilidad al dolor. Estas declaraciones aparentemente pequeñas prueban un concepto: se pueden crear armas biológicas que se dirijan al sistema nervioso central, cambiando la percepción y el comportamiento.

Le pregunté a Popov si las armas biológicas podían diseñar patógenos que induzcan el tipo de efectos generalmente

Frank Stahl, responsable del experimento histórico Meselson-Stahl de 1957, que probó que el ADN se replicaba en forma semiconservadora, tal como lo habían propuesto Watson y Crick. Meselson había dedicado mucho esfuerzo a prevenir las armas biológicas y químicas. En el año 2001, advirtiendo que el avance de la biotecnología estaba transformando las posibilidades de las técnicas biológicas de armamentos, escribió en el *New York Review of Books*, “A medida que nuestra capacidad de modificar los procesos biológicos continúa su rápido avance, no solo seremos capaces de idear otras formas de destruir la vida, sino que también seremos capaces de manipularla - incluyendo los procesos biológicos fundamentales de cognición, desarrollo, reproducción y herencia”.

Le pregunté a Meselson si todavía pensaba de esta manera. “Sí”, me dijo. Después de comentarle sobre las declaraciones de Popov sobre los esfuerzos rusos para desarrollar patógenos neuromoduladores, dije dudar que las armas biológicas pudiesen lograr dichos efectos específicos. “¿Por qué?” preguntó Meselson bruscamente. No creía que dichos agentes hubiesen sido creados aún - pero sí que fuesen posibles.

Nadie sabe cuándo dichas armas hipotéticas serán reales. Pero desde que Popov dejó Rusia, el rango y el poder de las herramientas biotecnológicas para manipular los circuitos de control genético han ido creciendo. Una revolución incipiente en “especificidad de direccionamiento” (direccionamiento es el proceso de modificar moléculas para reconocer y unirse a tipos particulares de células) es crear nuevas oportunidades en productos farmacéuticos; simultáneamente, es avanzar con las perspectivas para armas químicas y biológicas. La investigación actual investiga agentes que se dirigen a las distintas rutas bioquímicas en el sistema nervioso central y que podrían sedar a la gente, calmarla o incluso incapacitarla. Toda esa especificidad de direccionamiento podría, en principio, aplicarse también a armas biológicas.

El alcance perturbador de las posibilidades resultantes aludió a George Poste, un ex-jefe científico de Smith-Kline Beecham y presidente durante algún tiempo de una fuerza de trabajo sobre bioterrorismo en el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, en un discurso que dio en las Academias Nacionales y en el Centro para Estudios Estratégicos e Internacionales (Center for Strategic and International Studies) en Washington, DC en enero de 2005. De acuerdo con la transcripción del discurso, Poste recordó que en una conferencia reciente sobre biotecnología, había asistido a una presentación de agentes que aumentaban la memoria: “Exhibieron una serie de ratas de edad avanzada con funciones aumentadas de la memoria...Y se dispuso en la pantalla una química estructural muy elegante...Luego, haciendo un gesto despreocupado con la mano, el presentador dijo, ‘Por supuesto, la modificación del grupo metilo en C7 elimina completamente la memoria. Próxima diapositiva, por favor’.

Biotecnología rudimentaria

La era de las armas biológicas está recién asomando: prácticamente todo el desarrollo potencial del campo está por venir.

La publicación reciente de las Academias Nacionales describió muchos escenarios desagradables: además de los patógenos psicotrópicos, los académicos imaginan el uso indebido de “interferencia de ARN” para perturbar la expresión génica, de nanotecnología para administrar toxinas y de virus para administrar anticuerpos que podrían dirigirse a grupos étnicos.

Esto último no es en absoluto ridículo. El microbiólogo Mark Wheelis de la Universidad de California, Davis, que trabaja con el Centro para el Control y la No Proliferación de Armas de Washington (Washington-based Center for Arms Control and Non-Proliferation) señala en un artículo para Arms Control Today, “Crear un arma específica para etnia que se dirija a seres humanos es...difícil, ya que la variabi-

lidad genética humana es muy alta tanto dentro de los grupos étnicos como entre ellos...pero no hay ninguna razón para creer que eventualmente no vaya a ser posible”.

Pero los comentaristas se han concentrado en riesgos especulativos durante décadas. Si bien las amenazas que describen son verosímiles, los pronósticos calamitosos se han convertido en un ritual - una forma de evitar problemas más inmediatos. Ya en el año 2006 se podría haber hecho mucho.

El arma autoinmunitaria de mielina de Popov podría ser replicada por los terroristas. No sería una hazaña sencilla: si bien los requerimientos tecnológicos son relativamente leves, el conocimiento científico que se requiere es considerable. Al menos, los terroristas tendrían que emplear un científico real como también técnicos de laboratorio capacitados para manejar sintetizadores de ADN y cultivar patógenos. También tendrían que encontrar algún modo de dispersar sus patógenos. La Unión Soviética convirtió los agentes biológicos en “armas”, transformándolos en aerosoles finos que podrían rociarse sobre grandes áreas. Esto presenta problemas de ingeniería de una clase industrial, posiblemente más allá de la capacidad de cualquier actor sub-estatal. Pero los bioterroristas podrían estar dispuestos a infectarse a ellos mismos y caminar por multitudinarios aeropuertos y estaciones ferroviarias: sus toses y estornudos serían las bombas de su campaña de terror.

Si bien todavía parece ser difícil, la bioingeniería de taller-laboratorio se está facilitando año tras año. En la vanguardia de aquellos que llaman la atención al potencial de la biotecnología para abuso se encuentra George Church, Profesor de Genética de la Escuela Médica de Harvard. Fue Church quien anunció en diciembre de 2004 que su equipo de investigación había desarrollado un nuevo sintetizador de alto rendimiento capaz de construir en una pasada una molécula de ADN de 14.500 bases de largo.

Church dice que su sintetizador de ADN podría hacer que la producción farmacéutica y de vacunas sea mucho más eficaz. Pero también podría posibilitar la elaboración de los genomas de la lista de armas biológicas de todos los virus de los “agentes selectos” del gobierno de los Estados Unidos. Church teme que comenzando con solamente los reactivos químicos constituyentes y la secuencia de ADN de uno de los agentes selectos, alguien con conocimiento suficiente pueda construir un virus letal. El virus de la viruela, por ejemplo, tiene aproximadamente 186.000 bases de largo - solo 13 moléculas de ADN más pequeñas que se han de sintetizar con la tecnología de Church y se unirán entre sí en un genoma vírico. Para generar partículas infecciosas, la variola sintética necesitaría entonces ser “puesta en operación” en una célula hospedante. Nada de esto es trivial; no obstante, con el conocimiento necesario, podría llevarse a cabo.

Le sugerí a Church que alguien con los conocimientos necesarios no necesitaría esta tecnología de avanzada para hacer daño. Una máquina de segunda mano podría adquirirse a través de un sitio web como eBay o LabX.com por un monto aproximado de US\$5.000. Alternativamente, los componentes - la mayoría electrónicos y accesorios fácilmente accesibles - podrían ensamblarse con un poco más de esfuerzo por un costo similar. La construcción de un sintetizador de ADN en esta forma no sería detectada por agencias de inteligencia.

La máquina de una generación más antigua construiría solamente oligonucleótidos, que luego tendrían que unirse para funcionar como un gen completo, de modo que solamente podrían sintetizarse los genes pequeños. Pero los genes pequeños se pueden usar para matar gente.

“La gente tiene dificultades para mantener el planteamiento ultrapuro necesario incluso con dispositivos comerciales - pero definitivamente se podrían hacer algunas cosas”, admitió Church.

¿Qué cosas? Una vez más, la experiencia de Serguei Popov en Biopreparat es instructiva. En 1981, Popov recibió indicaciones de Lev Sandakchiev, su jefe en Vector, de sintetizar fragmentos de viruela. “Yo estaba en contra de este proyecto”, me dijo Popov. “Pensaba que era un planteamiento extremadamente brusco y tonto”. Explicó que significaba un ardid difícil y sin sentido para impresionar a las fuerzas armadas soviéticas; cuando en 1983 sus investigadores adquirieron muestras de viruela reales, el programa se suspendió. No obstante, después de que Popov abandonó Vector continuaron con un programa muy relacionado que él había iniciado para la instalación en Oblensk de Biopreparat a mediados de la década del ochenta. Este proyecto empleó el poxvirus Vaccinia, el pariente relativamente inofensivo de la variola utilizado como una vacuna contra la viruela. No solamente fue el virus Vaccinia - cuyo genoma es muy similar al de la variola - un sustituto experimental conveniente de viruela, sino que también su enorme tamaño (por estándares víricos) también lo convirtió en un candidato atractivo para transportar genes adicionales. En síntesis, fue un modelo útil para las armas biológicas. Durante por lo menos una década, por lo tanto, un equipo de científicos de Biopreparat insertó sistemáticamente en el virus Vaccinia una variedad de genes que se codificaban para determinadas toxinas y para péptidos que actúan como mecanismos de señalización en el sistema inmunitario. Si bien Popov había indicado que el programa del virus Vaccinia recombinante debía avanzar hacia la codificación de los genes para péptidos que modulan el sistema inmunitario, se retiró antes de que los investigadores terminaran con los genes de interleucina. Pero sería sorprendente que los investigadores de Vector no hubiesen llegado al gen para interleucina 4 (IL-4), un péptido del sistema inmunitario

que induce leucocitos para incrementar su producción de anticuerpos y luego los libera.

Existen ciertas pruebas de que los rusos descubrieron los efectos de insertar el gen IL-4 en un poxvirus. Esos efectos son mortales. En el año 2001, Ian Ramshaw y un equipo de virólogos de la Universidad Nacional de Australia en Canberra empalmaron IL-4 en ectromelia, un virus de la viruela del ratón, y descubrieron que la viruela del ratón recombinante resultante desencadenaba la superproducción masiva del péptido de IL-4. Incluso los sistemas inmunitarios de los ratones vacunados contra la viruela del ratón no podían controlar la producción del virus: se produjo una tasa de mortalidad del 60 por ciento. Otros experimentos han confirmado la letalidad del patógeno recombinante. El experto estadounidense en poxvirus, Mark Buller, de la Universidad de Saint Louis en Missouri, diseñó distintas versiones del recombinante, una de las cuales mantuvo la virulencia total de la viruela del ratón mientras generaba interleucina 4 excesiva. Todos los ratones infectados con este recombinante murieron. La BBC informó que cuando se le preguntó acerca del experimento australiano, Sandakchiev, director de Vector, exclamó, “Por supuesto, esto no es sorprendente”.

Ya que el virus Vaccinia está disponible en todo el mundo, es una suerte que un híbrido de IL-4 del virus Vaccinia no sea un arma biológica eficaz: el virus Vaccinia tiene transmisibilidad entre seres humanos. Aun así, existen otros poxvirus que son transmisibles. La viruela, el más famoso y vil, es casi imposible de adquirir para los bioterroristas. Pero otro, varicela-zoster o varicela común, se adquiere fácilmente e incluso es más infeccioso que la viruela.

¿Qué pasaría si los bioterroristas empalmaran IL-4 en varicela y liberaran el híbrido a la población en general? Quizás nada. Muy frecuentemente, los creadores de armas biológicas soviéticas empalmaron exitosamente nuevos genes en patógenos para finalmente descubrir que los animales de prueba infectados no mostraban ningún síntoma. Una razón fue que los microbios genéticamente modificados a menudo eran “inestables en el medio ambiente” - es decir, no retenían los genes agregados. La ingeniería de patógenos recombinantes puede ser ineficaz también por otras razones: el gen exógeno podría expresarse en el órgano “equivocado”. Pero de acuerdo con distintos virólogos con conocimiento de armas biológicas, el resultado de empalmar IL-4 en varicela podría ser la supresión de la respuesta inmunitaria a la enfermedad. Según estos virólogos, el efecto sería similar a lo que les sucede a los pacientes con cáncer cuando contraen varicela. A menudo mueren cuando se tratan con terapias antivíricas. En niños o adultos sanos, la varicela es en general una enfermedad superficial que afecta principalmente la piel; pero dependiendo del estado inmunodepresor de un paciente con cáncer infec-

tado, las lesiones de la varicela pueden demorar en curarse, y las vísceras – es decir, los pulmones, el hígado y el sistema nervioso central – se enferman progresivamente.

Los bioterroristas podrían crear un virus recombinante de varicela-IL-4 más fácilmente que lo que les implica adquirir o fabricar los patógenos que encabezan la lista de agentes selectos. La IL-4 es uno de los genes estándar utilizados en las investigaciones médicas; un plásmido de IL-4 humana podría encargarse a cualquier empresa de síntesis de ADN y sería enviado vía FedEx por US\$350. Si nuestros terroristas hipotéticos estuviesen preocupados acerca de la detección, podrían evitar las compañías de síntesis de ADN por completo. Convenientemente, sin el ADN no codificador, la IL-4 tiene solo aproximadamente 462 pares de bases de largo. Es posible descargar la secuencia gené-

reactivo que cuesta menos de US\$200 que sería necesario para introducir el gen de IL-4 en la varicela. Finalmente, los terroristas también necesitarían una incubadora y los medios en donde cultivar las células resultantes. Los costos totales, incluyendo el sintetizador de ADN: probablemente menos de US\$10.000.

Temer. ¿A qué?

En el debate público sobre cómo defendernos contra las armas biológicas, el avance de la biotecnología apenas se analizó. En cambio, la mayoría de los biólogos y analistas de seguridad han debatido los méritos y fallas del Proyecto Bio-Shield, el plan de US\$5.600 millones del gobierno de Bush para proteger a la población estadounidense contra ataques biológicos, químicos, radiológicos o nucleares. Tras la conferencia sobre bioterrorismo del año pasado en DC, visité a Richard Ebright, cuyo laboratorio de Rutgers investiga el inicio de la transcripción (el primer paso en la expresión génica), para oír por qué se opone al boom de la biodefensa (en su forma corriente) y por qué no se preocupa por las síntesis de armas biológicas de los terroristas.

“Existen actualmente más de 300 instituciones estadounidenses con acceso a agentes para armas biológicas vivos y 16.500 individuos aprobados para manipularlos”, me ha dicho Ebright. Si bien todas esas personas se han sometido a alguna forma de control de antecedentes para verificar, por ejemplo, que no figuran en una lista de terroristas y que no son extranjeros ilegales – también es cierto, observó Ebright, que “Mohammed Atta habría pasado esas pruebas sin dificultades”.

Asimismo, destacó Ebright, en el momento de nuestra entrevista, 97 por ciento de los investigadores que reciben fondos del Instituto Nacional de Alergia y Enfermedades Infecciosas (National Institute of Allergy and Infectious Diseases) para estudiar los agentes para armas biológicas nunca antes habían sido financiados para dicho trabajo. Algunos de ellos, en consecuencia, no tenían experiencia previa alguna en la manipulación de estos patógenos. Han ocurrido múltiples incidentes de liberación accidental durante los dos años previos.

La manipulación descuidada de patógenos a nivel de armas biológicas es lo suficientemente alarmante, admití. ¿Pero no es más preocupante la proliferación de conocimientos y destrezas de los armamentos biológicos? Después de todo, ¿qué medios confiables tenemos para determinar si alguien se desempeña como biólogo molecular con el objetivo de desarrollar armas biológicas?

“Esa es la preocupación principal,” coincidió Ebright. “Si



En 1987, Biopreparat llevó a cabo una “clase sobre patógenos” en su complejo de investigación de Obolensk. Serguei Popov está en la fila de atrás, a la derecha.

tica de la IL-4 de Internet, usar un sintetizador básico para construirla en cinco segmentos y luego unir esos segmentos “manualmente”, como lo hicieron los científicos de Popov. El resto de las herramientas principales necesarias serían una centrifuga, como el sintetizador de ADN de US\$5.000, disponible a un precio reducido vía sitios de Internet – y un kit de transfección, un pequeño recipiente lleno de

al-Qaeda deseara llevar a cabo un ataque con armas biológicas en los Estados Unidos, su medio más simple para obtener acceso a los materiales y al conocimiento sería enviar individuos para que se capaciten dentro de programas de investigación sobre biodefensa”. Ebright hizo una pausa. “Y hoy en día, todas las universidades y oficinas de prensa corporativas anuncian a viva voz su éxito en asegurar fondos para investigación como parte de esta expansión de la biodefensa, describiendo exactamente lo que está disponible y dónde lo está”.

En cuanto a la amenaza de los agentes para armas biológicas de la generación futura, Ebright fue tajante: “Elaborar una cepa bacteriana resistente a los antibióticos está aterradoramente dentro del alcance de cualquiera que tenga acceso al material y al conocimiento de cómo desarrollarla”. Sin embargo, continuó, más ingeniería— para aumentar la virulencia, proporcionar escape de las vacunas, incrementar estabilidad del medio ambiente — requiere destreza y conocimientos importantes y una inversión mucho mayor en tiempo y esfuerzo. “Es claramente posible crear mediante ingeniería un aumento de patógenos de generación futura, como lo hizo la ex-Unión Soviética. Que no haya habido ata-

necesidad de pasar al nivel siguiente está fuera de la estructura de incentivo de cualquier organización sub-estatal”.

Incluso aquellos íntimamente implicados en la biodefensa por lo general respaldan este punto de vista. Para conocer la perspectiva de alguien interiorizado, me puse en contacto con Jens Kuhn, el virólogo de la Escuela Médica de Harvard. Kuhn, nacido en Alemania, ha trabajado no solamente en Usamriid y en los Centros para el Control de Enfermedades en Atlanta, sino también — ha sido el único occidental - en Vector.

Kuhn, como Ebright, no es fanático del modo en que se está desplegando el boom de la biodefensa. “Cuando estaba en Usamriid, se ilustraba cómo debía ser una instalación de biodefensa”, me comentó. “Es por eso que estoy preocupado —porque el sistema funcionaba y los expertos se concentraban en los lugares correctos, Fort Detrick y los Centros para el Control de Enfermedades. Ahora estos conocimientos y experiencias se diluyen, lo cual no es inteligente”.

Kuhn cree, no obstante, que se necesita algún tipo de programa nacional de biodefensa. Simplemente no cree que nos estemos preparando para lo correcto. “Todo el mundo hace estas conexiones con el bioterrorismo, los

Elaborar una cepa bacteriana resistente a los antibióticos está aterradoramente dentro del alcance de cualquiera que tenga acceso al material y al conocimiento necesarios

ques con armas biológicas en los Estados Unidos excepto los ataques con carbunco en el 2001 — los cuales llevaban la marca de alguien con muchos conocimientos en la comunidad de biodefensa de los Estados Unidos — significa de hecho que ningún sub-estado adversario de los Estados Unidos tiene acceso a los medios básicos para llevarlos a cabo. Si al-Qaeda contara con armas biológicas, las liberaría”.

Milton Leitenberg, el especialista en control de armas, da un paso más: dice que porque los grupos de sub-estados no han usado armas biológicas en el pasado, es poco probable que vayan a hacerlo en un futuro próximo. Dichas controversias son usuales en los círculos de seguridad. Pero para quienes contemplan el rápido avance de las ciencias biológicas y la biotecnología, tienen una persuasión limitada.

Sugerí a Ebright que la biología sintética ofrecía “algo demasiado accesible” para un bioterrorista con conocimientos. Admitió que había escenarios con potencial siniestro. Reconoció que la biotecnología podría convertir a BioShield, que se concentra en agentes selectos convencionales tales como viruela, carbunco y Ébola, en menos relevante. Aun así, sostuvo, “un agente para armas biológicas convencional puede tener el potencial de ser masivamente perturbador en costos económicos, temor, pánico y víctimas. La

ataques de carbunco y al-Qaeda. Es completamente erróneo.” Kuhn recordó su tiempo en Vector y la gran escala de esa instalación. “Cuando uno mira lo que hicieron los rusos, esa clase de enormes programas estatales con miles de millones de dólares fluyendo hacia investigaciones de gran sofisticación implementados durante décadas — ellos son el problema. Si las naciones-estados comienzan un Proyecto Manhattan para construir el arma biológica perfecta, estamos en el horno”.

¿Pero no es que la tecnología moderna permite que pequeños grupos hagan cosas sin precedentes en laboratorios caseros?, pregunté.

Kuhn reconoció, “Se hacen algunas cosas allí” con el potencial de matar gente. Pero midiendo las probabilidades, vio la amenaza en estos términos: “Definitivamente más bioguerra que bioterrorismo. Definitivamente, más armas biológicas sofisticadas para el futuro que las que existen hoy en día. Se nos viene el peligro y nos estamos preocupando por cosas como BioShield. No creo que allí esté la clave de nuestra salvación”.

¿Hay alguna ayuda en camino?

El siglo XXI verá una revolución biológica análoga a la

revolución industrial del siglo XIX. Pero tanto sus beneficios como sus amenazas serán más profundos y más desgarradores.

La amenaza en el corto plazo es que los genes podrían ser pirateados fuera de los grandes laboratorios. Esto significa que los terroristas podrían crear armas biológicas recombinantes. Pero la investigación de avanzada sobre armas biológicas ha sido siempre tarea de laboratorios gubernamentales. La amenaza a largo plazo es la de siempre: las fuerzas militares nacionales. La biotecnología les proporcionará armas con poder y especificidad sin precedentes. George Poste, en su discurso del 2003 para las Academias Nacionales, advirtió a su audiencia que en las décadas siguientes las ciencias biológicas aparecerían más en asuntos de seguridad nacional e internacional. Poste agregó: “Si realmente miran la historia de la asimilación del avance tecnológico en el cálculo de los asuntos militares, no podrán hallar un solo precedente histórico en el que no se hayan desplegado nuevas tecnologías drásticas que reparan la inferioridad militar”.

Matthew Meselson de Harvard ha dicho lo mismo y añadió que un mundo en el que la nueva biotecnología se despliega en forma militar “sería un mundo en el que la naturaleza de conflicto habría cambiado radicalmente. En eso podrían yacer las oportunidades sin precedentes de violencia, coerción, represión o subyugación”. Meselson añade: “Los gobiernos deberían tener el objetivo de controlar cantidades muy grandes de gente. Si hay una situación de conflicto permanente, la gente comienza a contemplar las cosas que las normas de conflicto no permiten. Comienzan a visualizar al enemigo como un ser subhumano. Eventualmente, esto conduce a ver a las personas en su propia cultura como herramientas”.

¿Qué medidas podrían mitigar tanto las amenazas cercanas como aquellas más distantes del uso de armas biológicas? BioShield, tal como está constituido actualmente, no nos protegerá de patógenos modificados genéticamente. Se ha propuesto una cantidad de soluciones radicales (como en algún modo reforzando el sistema inmunitario a través de inmunomodificadores genéricos), pero incluso si se llevan adelante, su desarrollo podría demorar años o décadas.

Más inmediatamente, nadie cuenta con una buena idea sobre lo que se debe hacer. Algunos científicos esperan detener la propagación del conocimiento acerca de las armas biológicas. Richard Ebright de Rutgers desea revertir lo que considera contraproducente en el financiamiento de la biodefensa. Más drásticamente, George Church de Harvard convoca a todos los sintetizadores de ADN a registrarse internacionalmente. “Esto no sería como regular la tenencia de pistolas, donde simplemente se le da a la gente una licencia y se la deja hacer lo que quiere”, afirma.

“Junto con la licencia vendría la responsabilidad de informar.” Asimismo, Church cree que tal como todos los sintetizadores de ADN deberán estar registrados, también deberían estarlo los biólogos moleculares que investiguen los agentes selectos o la respuesta del sistema inmunitario humano a patógenos. “Nadie está obligado a investigar en esas áreas. Si alguien lo hace, entonces deberá estar dispuesto a tener una carrera en investigación muy transparente”, afirma Church.

Pero la aprobación de las propuestas de Church representaría una regulación de la ciencia sin precedentes. Lo que es peor, no todas las naciones la cumplirían. Por ejemplo, los biólogos rusos, algunos de los cuales se sabe que han trabajado en Biopreparat, han capacitado, según se ha informado, a estudiantes de biología molecular en el Instituto Pasteur de Teherán.

Más fundamentalmente, detener el progreso de la investigación sobre armas biológicas es probablemente poco práctico. El conocimiento biológico es todo uno, y las terapias no pueden distinguirse fácilmente de las armas. Por ejemplo, una tendencia general en biomedicina consiste en usar vectores víricos en la terapia génica.

Robert Carlson, científico de alto rango del Laboratorio Genomation y del Centro de Ciencias Biológicas de Microescala (Microscale Life Sciences Center) en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Washington cree que hay dos opciones. Por un lado, podemos ponernos severos en cuanto a la investigación sobre la biodefensa, impidiendo el crecimiento de nuestra capacidad de responder a las amenazas biológicas. Alternativamente, podemos continuar empujando los confines de lo que se sabe acerca de cómo se pueden manipular los patógenos – esparciendo la experiencia y los conocimientos para construir sistemas biológicos, para mejor y para peor, a través de experimentos como el ensamble de Buller de un recombinante de viruela del ratón-IL4 – de modo de no estar en desventaja mortal. Esperemos que algún día la tecnología sugiera una respuesta.

Serguei Popov ha vivido con estas preguntas durante más tiempo que el resto. Cuando le pregunté qué se podría hacer, me dijo, “No sé qué clase de comportamiento o medidas científicas o políticas podrían garantizar que la nueva tecnología no nos vaya a lastimar”. Pero el primer paso vital, afirmó Popov, era que los científicos superaran el rechazo a analizar las armas biológicas. “La conciencia pública es muy importante. No digo que sea una solución a este problema. Francamente, aún no veo ninguna solución. De todos modos, tenemos que tomar conciencia”.

Mark Williams es escritor para Technology Review.