



Identificación de Megaproyectos de Investigación Científica



PERÚ

Ministerio
de Educación

Consejo Nacional de Ciencia,
Tecnología e Innovación
Tecnológica

Presidente Dr. Augusto Mellado	Secretario General (e) Dr. Jorge del Carpio
Director de Ciencia y Tecnología Dr. Pablo Huerta	Director de Políticas y Planes Mg. Luis Ponce
Director de Prospectiva e Innovación Tecnológica Ing. Fernando Ortega	Director de Articulación y Gestión del SINACYT Mg. Victor Carranza
Director del FONDECYT (e) Dr. Juan Tarazona	Director de Sistemas de Información y Comunicaciones Dr. Jorge del Carpio
Jefa de Planeamiento y Presupuesto Ing. Betty Marrujo	Jefe de Asesoría Jurídica Abog. María Porras
Jefe de la Oficina de Administración Eco. Aída Salas	Jefe del Órgano de Control Institucional CPC Raúl Candia

Libro	: Identificación de Megaproyectos de Investigación Científica
Editor	: CONCYTEC Av. del Aire No. 485 - San Borja
Autor	: José Segovia-Juárez, Ph. D., CONCYTEC.
Primera edición	: Diciembre de 2010.
Tiraje	: 1,000 ejemplares.

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2011- 09456

ISBN : 978-9972-50-137-1

Impreso: Servicios Gráficos de Rodríguez Paredes / RUC.:10452947973
Jr. Nicolás de Piérola N°161, Lima 7, Perú.
Correo electrónico: editaimprimetulibro@gmail.com

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio, ya sea electrónico, químico, óptico, incluyendo sistema de fotocopiado, sin autorización expresa del autor.

© Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica - CONCYTEC.

Impreso en Perú - Printed in Peru

Identificación de Megaproyectos de Investigación Científica

Presentación..... v

1 NANOTECNOLOGÍA

Megaproyecto en Nanotecnología:

Fabricación de nanopartículas de oro, plata, óxido de cobre y óxido de zinc 3
Abel Gutarra, Ph.D., Universidad Nacional de Ingeniería

2 BIOTECNOLOGÍA

Megaproyecto en Biotecnología:

Biodiversidad, Biotecnología y Bioeconomía: Valorización biotecnológica de la biodiversidad 21
Marcel Gutiérrez-Correa, Ph.D., Universidad Nacional Agraria La Molina

Comentarios al Megaproyecto de Biotecnología:

Valorización biotecnológica de la biodiversidad: La alternativa de desarrollo..... 41
Gretty K. Villena, Ph.D. , Universidad Nacional Agraria La Molina

La Genómica Funcional de Plantas en un Megaproyecto de Biodiversidad..... 51
Luis DeStefano-Beltrán, Ph.D., Universidad Peruana Cayetano Heredia

La Importancia de la Fisiología en un Megaproyecto de Biodiversidad 59
Gustavo Gonzales Rengifo, MD., Dr.Sc., Universidad Peruana Cayetano Heredia

3 ENERGÍA

Megaproyecto en Energía:

Centro Nacional de Energía 77
Dr. Agustín Zúñiga Gamarra, Instituto Peruano de Energía Nuclear

4 TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN

Megaproyecto en Tecnologías de la Información y Comunicación:

Informática en Bio-Medicina 87

Dr. Carlos Valdez Velásquez-López, Ministerio de Transportes y Comunicaciones

Cesar Beltrán Castañon, Ph.D., Universidad Nacional San Agustín de Arequipa

José Segovia-Juárez, Ph.D., CONCYTEC

PROGRAMA DEL SIMPOSIO:

Identificación de megaproyectos de investigación para la competitividad 107

PRESENTACIÓN

El Perú experimenta un crecimiento económico importante, basado principalmente en la exportación de materias primas y manufactura. Para consolidar el crecimiento de la economía, y alcanzar un desarrollo y bienestar social sostenibles, es necesario promover una cultura de innovación y generación de conocimientos, mediante la investigación científica y tecnológica.

El Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC), en el periodo 2006 – 2011, ha iniciado la articulación del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología e Innovación (SINACYT) mediante la organización de veinticinco Consejos Regionales de Ciencia y Tecnología (CORCYTEC) y la implementación de diez Centros de Excelencia a nivel de postgrado denominados Cátedras CONCYTEC, para la formación de investigadores a nivel doctoral. A partir de estas Cátedras se promueven las Empresas de Base Tecnológica y los Parques Científico-Tecnológicos.

Dentro de este marco, el CONCYTEC organizó el Simposio “Identificación de Megaproyectos de Investigación para la Competitividad”, con el objetivo de identificar megaproyectos de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTeI), que se desarrolló el 24 y 25 Noviembre del 2010 en el Auditorio del Centro Cultural Ccori Wasi de la Universidad Ricardo Palma con sede en Miraflores, Lima. El evento contó con la participación de investigadores de ciencias e ingeniería provenientes de todo el país.

En este Simposio, especialistas de diversas disciplinas expusieron y analizaron ideas de proyectos, vislumbrando la posibilidad de generar alto impacto científico, social y económico en las áreas de Nanotecnología, Biotecnología, Energía, y Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). La implementación de estos proyectos debe ser interdisciplinaria, involucrando las ciencias básicas: Física, Química, Biología, y Matemáticas; así como las Ciencias de la Computación, bajo un enfoque integral, en la búsqueda de soluciones específicas a problemas nacionales prioritarios. Además, a partir de estos megaproyectos se pueden definir propuestas específicas para desarrollar la infraestructura, el equipamiento y para definir el perfil de los investigadores, de utilidad para la implementación de los Parques Científico-Tecnológicos.

Esta publicación recopila los artículos en los que se analizan las propuestas de los megaproyectos identificados en cada una de las cuatro áreas mencionadas, y se presenta a las universidades, institutos de investigación, empresas innovadoras, entidades gubernamentales y público en general. Esperamos que estas propuestas sirvan de base para el desarrollo de acciones futuras encaminadas a la vinculación de la Ciencia, Tecnología e Innovación con los objetivos del desarrollo nacional.

Agradecemos la participación de los expositores, panelistas y moderadores que participaron en el Simposio, al personal del CONCYTEC que contribuyó con su organización, a la Universidad Ricardo Palma y a la Asamblea Nacional de Rectores por su importante apoyo.

Dr. Augusto Mellado Méndez
Presidente del CONCYTEC

1 NANOTECNOLOGÍA

MEGAPROYECTO EN NANOTECNOLOGÍA: Fabricación de nanopartículas de oro, plata, óxido de cobre y óxido de zinc

Abel Gutarra, Ph.D., Universidad Nacional de Ingeniería

MEGAPROYECTO EN NANOTECNOLOGÍA: Fabricación de nanopartículas de oro, plata, óxido de cobre y óxido de zinc

Abel Gutarra, Ph.D., Universidad Nacional de Ingeniería

RESUMEN

En este artículo se propone como megaproyecto el desarrollo de capacidades para la fabricación de nanopartículas de algunos metales y óxidos seleccionados por su relevancia estratégica. La fabricación de oro como nanopartículas de 2-5 nanómetros de radio produciría un incremento de su precio de exportación desde dos hasta tres órdenes de magnitud respecto a su precio en lingotes. También se obtendrían incrementos notables en el precio si se fabricaran nanopartículas de plata, óxido de zinc y óxido de cobre. Se propone como sub-proyecto, la fabricación de nanopartículas de plata como agentes bactericidas. Este material se fijaría en filtros cerámicos que se emplearían en la purificación de agua. Esta aplicación es de la mayor relevancia no sólo en el Perú sino a nivel regional. Finalmente, se hace una evaluación de nuestra disposición actual de especialistas e instituciones de investigación que formarían el núcleo básico del potencial humano para el megaproyecto.

1. INTRODUCCIÓN

La nanotecnología engloba un conjunto de técnicas que permiten fabricar, manipular y utilizar objetos de escala nanométrica. La unidad en esta escala es el nanómetro (nm), que equivale a la millonésima parte de un milímetro. Los objetos que comprende la nanotecnología miden entre 1 y 100 nm. Una de las principales

ventajas que se obtiene al reducir el tamaño de la materia a unos cuantos nanómetros, es que sus propiedades físicas y químicas cambian respecto a cuando tienen un tamaño mayor. Por ejemplo, el oro en tamaños usuales se funde a más de 1,000°C, si se fabrican nanopartículas de oro entre 2-3 nm, se funden a sólo 600 °C (Fig. 1a). El sustento de la nanotecnología se encuentra en las ciencias básicas como la física, química y biología, pero con un fuerte carácter interdisciplinario, que conducen a materiales exóticos que combinan por ejemplo, nanopartículas de oro con proteínas adheridas a su superficie, o nanopartículas de arcilla intercaladas estructuralmente con polímeros. El equipamiento para fabricar y analizar estos materiales tan pequeños han estimulado el desarrollo paralelo de una ingeniería especializada en instrumentación y procesos de manufactura de escala nanométrica.

Quizás una de las propiedades más notables de las nanopartículas es su alta reactividad por unidad de masa. La explicación cualitativa de este comportamiento es que al ser más pequeña la partícula, mayor es la proporción de átomos que se encuentran en su superficie respecto a los que se encuentran en su interior. Los átomos de la superficie de cualquier material son más reactivos porque no están completamente rodeados de otros átomos, por ello tienen un estado energético propicio para reaccionar con otros átomos y alcanzar la estabilidad.

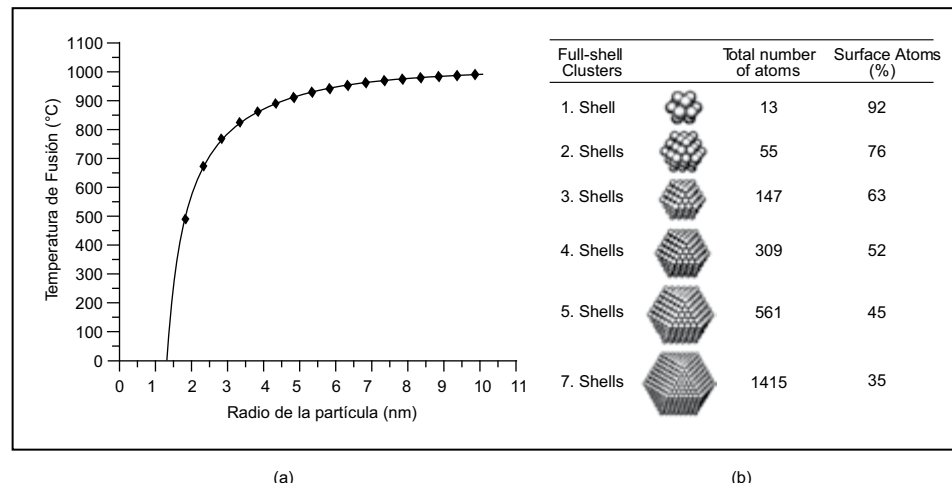


Figura 1. (a) Variación de la temperatura de fusión del oro cuando se reduce su tamaño a algunos nanómetros. (b) Porcentaje de átomos superficiales cuando se reduce el tamaño de una partícula (Klabunde K. J., 2001).

En la Figura 1(b) se muestra numéricamente cómo aumenta el porcentaje de átomos en la superficie, cuando más pequeñas son las partículas.

El incremento de la reactividad química de estos nanomateriales se traduce en una nueva generación de catalizadores mucho más eficientes que los anteriores. En este sector, la penetración de la nanotecnología tendrá un gran impacto teniendo en cuenta que el mercado de catalizadores para el 2015 será de 448 mil toneladas para refinería de petróleo y de 243 mil toneladas para la industrias de procesamiento químico (Acmite Market Intelligency, 2008).

Los cambios de propiedades físicas y químicas se extienden mucho más que la reactividad. Si el material es magnético como el óxido de hierro, al reducir su tamaño a la escala nanométrica se incrementa su campo coercitivo (memoria magnética); los semiconductores cambian su ancho de banda; los metales cambian sus propiedades ópticas (coloración) y disminuyen su temperatura de fusión,

etc. Otros campos de aplicación de alta demanda están relacionados con el incremento de las propiedades mecánicas (dureza, elasticidad, densidad) que experimentan los materiales tradicionales cuando son combinados (compósitos) con nanomateriales. Por otro lado, algunas nanopartículas de metales y óxidos muestran una alta capacidad bactericida que los hacen útiles para esterilizar instrumentos en cirugía, en la desinfección de agua, así como en la preservación de alimentos. En la Figura 2 se muestra una microfotografía electrónica de nanopartículas de plata menores de 100 nm ofrecidas comercialmente.

Las consecuencias de estas modificaciones se aprecian en la gran variedad de productos nanotecnológicos que se ofrecen en el mercado.

Se pronostica que para el año 2014 se comercializarán 2.6 billones de dólares y que el 15% de todos los procesos de manufactura emplearán métodos basados en nanotecnología.

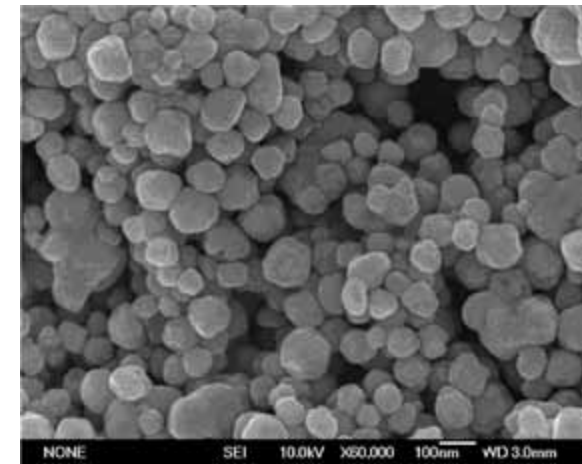


Figura 2. Microfotografía obtenida con un microscopio electrónico de barrido de nanopartículas de plata ofrecidas comercialmente para desinfección. La escala inferior permite estimar el tamaño promedio de las partículas en menos de 100 nm (Xuzhou Hongwu Nanometer Material, 2010).

En la Tabla 1, se enumeran algunas aplicaciones de nanomateriales agrupados por sectores.

Tabla 1. Productos nanotecnológicos que se comercializan actualmente

Industria Automotriz Materiales ligeros Pintura Catálisis Sensores	Construcción Materiales aislantes Ignífugos Recubrimientos	Cosméticos Bloqueadores Cremas para la piel Dentríficos
Industria Química Aditivos para pinturas Aditivos en papel Adhesivos Fluidos magnéticos	Medicina Liberación fármacos Agentes de contraste (imagen) Prótesis, implantes Agentes bactericidas	Alimentos y bebidas Empaques Sensores Clarificadores
Ingeniería Recubrimientos para metales Lubricantes Superficies antifricción	Textiles Recubrimientos Textiles inteligentes Textiles antibacteria Hilos ultrafinos	Utilitarios Recubrimientos cerámicos Removedores de olores Limpiadores de vidrio etc.
Electrónica Displays Memorias Diodos láser Fibras ópticas Films antiestáticos	Energía Celdas de combustible Celdas solares Baterías Capacitores	Deportes Skies Raquetas de tenis Antinieblas

2. ANTECEDENTES

Nanotecnología en el mundo

Estados Unidos fue el primer país en establecer un programa nacional en nanotecnología (NNI) el 2001, con un fondo federal de \$ 464 millones, el 2010 este monto aumentó a \$ 1,800 millones. Actualmente más de 60 países tienen programas nacionales en nanotecnología (Shapira, P. and Wang J., 2010).

La inversión mundial en investigación

y desarrollo (I y D) en nanotecnología es creciente. En el caso de los Estados Unidos y el Japón es notable que la inversión privada sobrepasa la contraparte pública. En la figura 3, se aprecia el monto de inversiones en I y D de la Comunidad Europea, Estados Unidos, Japón y los demás países, agrupados en un solo bloque. La tabla inferior registra los montos en millones de euros durante los años 2004-2006, y agrupados por el sector que invierte. Según el cuadro, la inversión mundial se aproximó a los 24,000 millones de euros durante ese periodo.

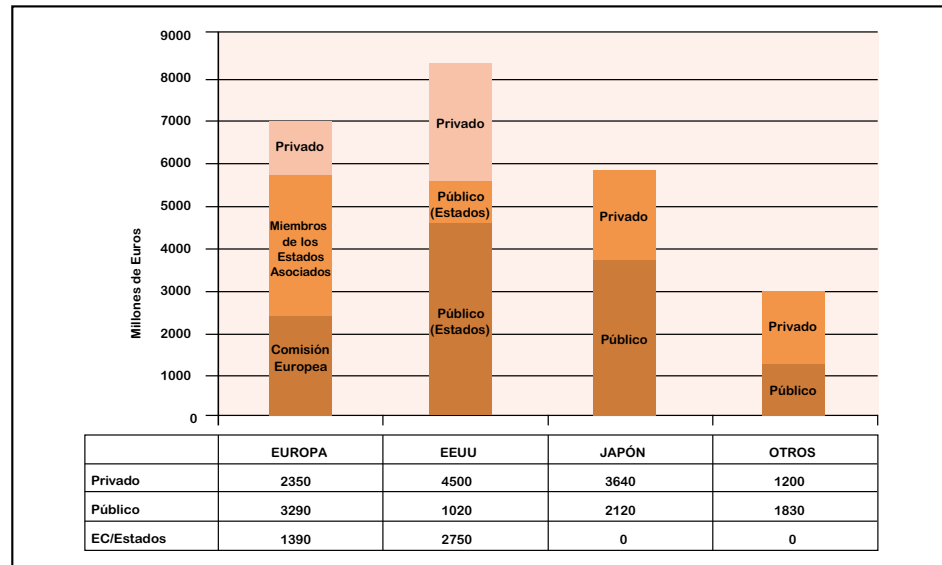


Figura 3. Inversión en Investigación y Desarrollo en nanotecnologías de los países europeos, EEUU, Japón y otros en el periodo 2004-2006. (Palmberg et al, 2009).

Nanotecnología en el Perú

En el Perú, la actividad de investigación en nanotecnología es baja pero notablemente creciente. El año 2008 se reportó un estudio (Gutarra A., 2008) donde se identificaban 25 investigadores trabajando en nanotecnología repartidos en ocho universidades y un instituto. Actualmente, esta cantidad no ha variado significativamente pero si es

notable el aumento de equipos disponibles y las investigaciones realizadas. Es interesante remarcar que en el reporte del 2008, se identificaron cinco grupos de investigación independientes que aplican nanotecnologías para la descontaminación del agua.

Los grupos de investigación que actualmente fabrican nanopartículas en el

Perú son:

Universidad Nacional de Ingeniería:

- Nanopartículas de oro, plata, óxido de silicio, óxido de cobre, óxido de zinc;
- Electrodo nanoestructurado de óxido de cobalto/titanio.

Instituto Peruano de Energía Nuclear

- Nanopartículas de óxido de cobre, óxido de zinc, óxido de estaño, óxido de titanio, óxido de estaño-tungsteno.

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

- Nanopartículas de cobre, cobre recubierto con plata, sulfuro de zinc,

sulfuro de cadmio, óxido de zinc, óxido de cadmio, óxido de hierro-molibdeno.

- Cuasicristales nanométricos de aluminio/cobre/hierro.

3. ANÁLISIS DE DEMANDA

Los análisis más moderados pronostican que el mercado mundial en productos nanotecnológicos alcanzará en pocos años los billones de dólares. En la Figura 4, se grafican los montos, en billones (mil millones) dólares, del mercado mundial en nanotecnologías pronosticados hasta el 2015, por ocho instituciones especializadas.

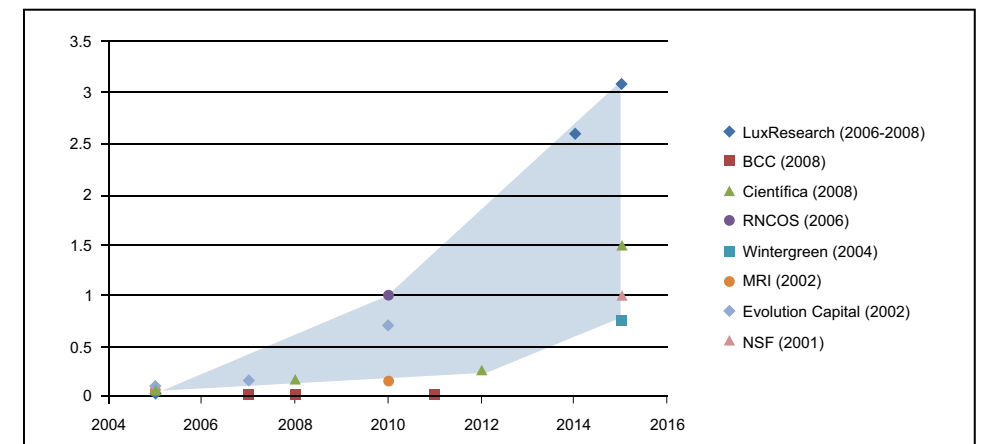


Figura 4. Pronósticos del mercado de productos o procesos nanotecnológicos de acuerdo a consultoras privadas e instituciones académicas hasta el año 2015 (Adaptado de Palmberg et al, 2009).

Valor comercial de nanopartículas

Ya se ha mencionado, en forma general, el gigantesco mercado que se espera los próximos años para productos nanotecnológicos. En este proyecto se propone la fabricación de nanopartículas de oro, plata y óxidos de cobre y de zinc. Esta selección se debe al gran potencial minero del Perú en estos metales y, a la

existencia de núcleos de investigación local con un nivel inicial de desarrollo en estos materiales.

Una revisión de los precios de mercado de estos dos minerales y óxidos, nos pueden dar una idea del incremento en el valor comercial que se lograría debido a su transformación en nanopartículas.

En las Figura 5, se grafican los precios de exportación (por kg) del oro y la plata comparado al valor del mismo metal convertido a nanopartículas del tamaño promedio indicado entre paréntesis. También se indica en cada cuadro, el factor que relaciona ambos precios. En el caso del oro, tomamos el valor de exportación de \$1,400 onza. El precio de nanopartículas de 50-100nm incrementa 8.4 veces. Es necesario, decir que el costo de las nanopartículas puede variar significativamente por tres factores: la pureza, el tamaño promedio y la forma.

Las nanopartículas de oro, esféricas, de 2-5 nm, pueden costar varios millones de dólares por kg. De hecho, la dificultad de su manipulación a estas dimensiones hace que sean comercializadas con un recubrimiento, generalmente orgánico que incrementa más aún su valor.

El precio de los óxidos se muestra en las Figura 6. Destaca el caso del óxido de zinc que incrementa su valor por un factor de 158, cuando se fabrican partículas en un rango de 20-25 nm de diámetro.

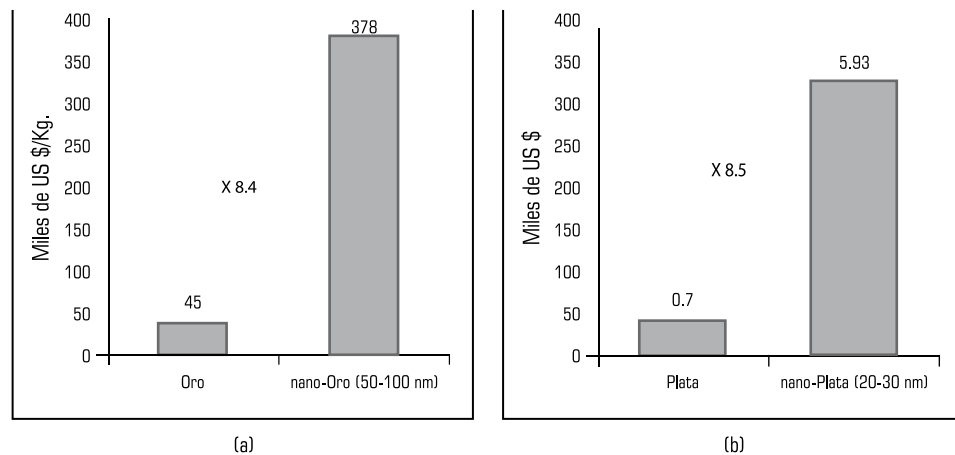


Figura 5. (a) Comparación de precios de oro y nanopartículas de oro. (b) Comparación de precios de plata y nanopartículas de plata. Los precios de las nanopartículas se obtuvieron en http://www.ssnano.com/CAT/Catalog_SSNano.pdf para el oro y en http://www.ssnano.com/CAT/Catalog_SSNano.pdf para la plata.

Como mencionamos antes, los precios se elevan en función de las aplicaciones que se vienen desarrollando con gran rapidez. Vamos a describir algunos ejemplos específicos de la aplicación de nanopartículas de oro que explicarían su alto precio en el mercado.

Electrónica impresa

Esta es una nueva tecnología que utiliza los métodos de impresión (screen printing,

ink Jet, etc.) para fabricar dispositivos electrónicos, como circuitos, sensores, transistores de películas delgadas. El elemento principal para la fabricación de los componentes es la tinta que se aplica. En el caso que se quieran hacer las pistas conductoras de un circuito, se debe usar una tinta que al secarse tenga una baja resistencia eléctrica. Uno de los materiales con mayor potencialidad para este fin es el oro de tamaño nanométrico disperso en un solvente. Como las partículas son

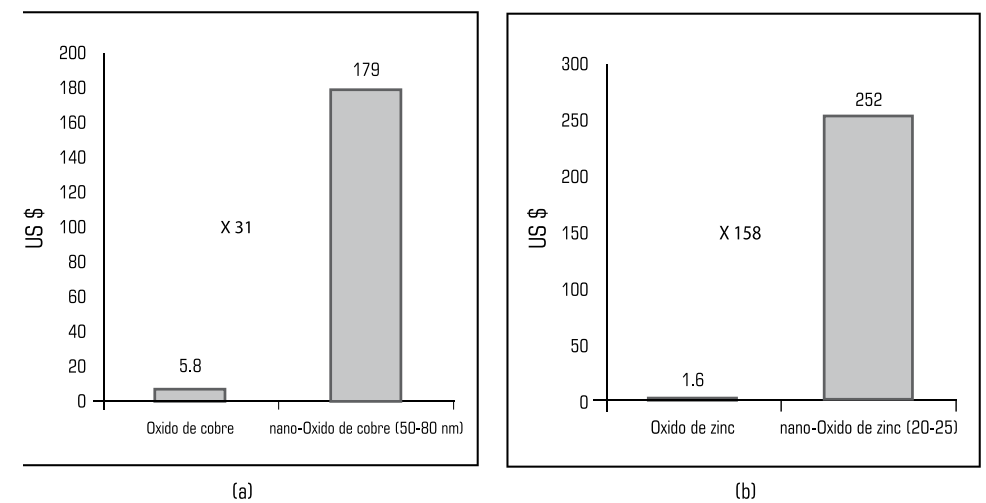


Figura 6. (a) Comparación de precios de óxido de cobre y nanopartículas de óxido de cobre. (b) Comparación de precios de óxido de zinc y nanopartículas de óxido de zinc. Los precios de las nanopartículas de óxido de cobre se obtuvieron en <http://www.inframat.com/products/29N-0801.htm> y las de óxido de zinc en http://tecnan-nanomat.es/documentos/ficheros_documentos/Catalogo%202010%20-%20POLVOS.pdf.

tan pequeñas puede sinterizar a 120°C con conductividades del 70% de la del oro. Una de las ventajas que ofrece este tipo de circuitos es que pueden construirse sobre sustratos flexibles (Figura 7(a)).

Las expectativas del mercado para la electrónica impresa son muy optimistas. Se espera que alcance los 120,000 millones de dólares para el 2020, como se muestra en la Figura 7(b).

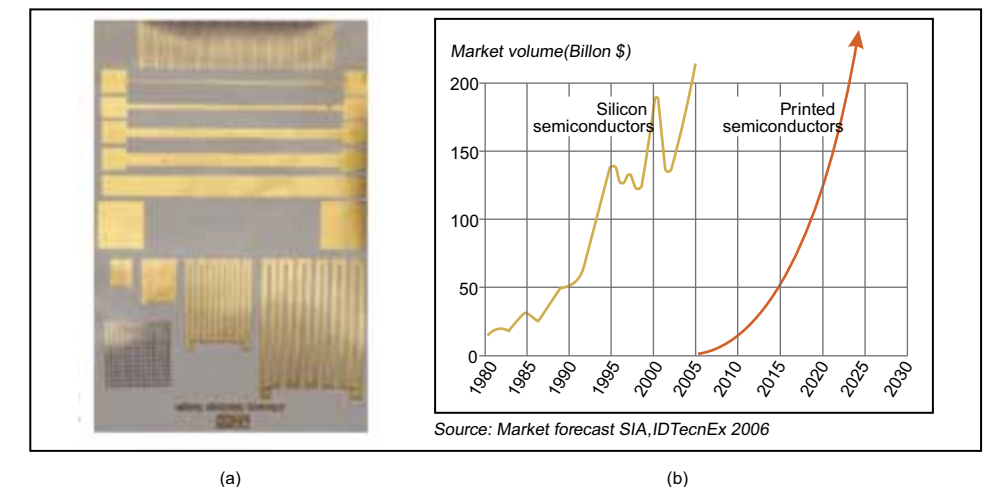


Figura 7. (a) Circuito impreso con pistas de nanopartículas de oro. (b) Pronóstico del mercado mundial de circuitos diseñados por electrónica impresa (Keel T. et al 2010).

Tratamiento contra el cáncer

El cáncer a la próstata, es el segundo más letal en el Perú y en muchos países. Anualmente se detectan en nuestro país 4,000 nuevos casos al año. Entre el 60-70% de los casos de muerte se debe a que la detección fue tardía. Se está ensayando una técnica de detección usando nanopartículas de oro (nAu).

Cuando se ponen en contacto nanopartículas de oro con proteínas asociadas al

tumor, se forman “agrupamientos” de n-Au (cluster) alrededor de la proteína. Es decir, que si se forma el agrupamiento de nanopartículas es porque hay presencia del tumor. Lo que resta, para tener una técnica de diagnóstico, es poder detectar la formación de esta aglomeración de oro. Mediante la técnica denominada “dispersión de luz” es posible detectar la formación de estos agrupamientos a muy bajas concentraciones, permitiendo un diagnóstico temprano.

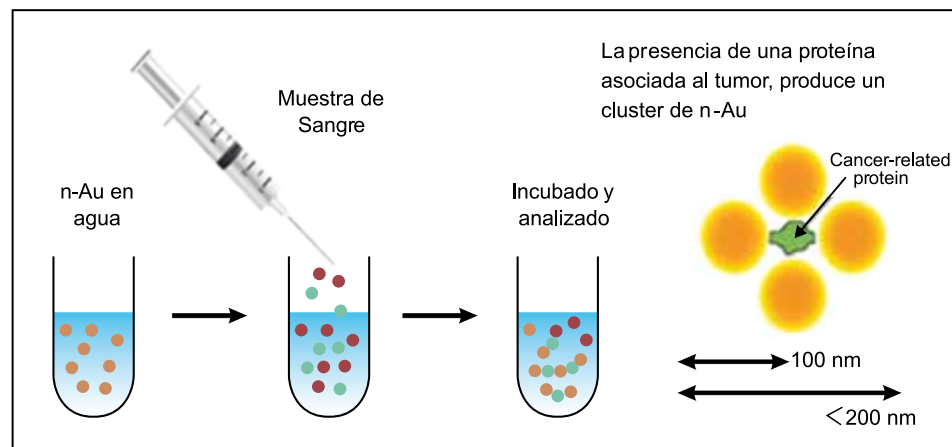


Figura 8. Método para detección temprana del cáncer. Cuando las nanopartículas de oro encuentran una proteína asociada a un tumor, la rodean formando aglomerados de nanopartículas. El conjunto ocupa un volumen mayor que las partículas individuales, por esa razón se hace posible detectarlas (Keel T. et al 2010).

Una técnica de terapia contra el cáncer que está en nivel de experimentación avanzada es la eliminación del tumor por calentamiento de nanopartículas de oro. En este caso, la estructura de la nanopartícula es un poco más compleja. Se trata de un cascarón de oro que rodea un núcleo sólido de óxido de silicio (nanoshell). El primer paso consiste en funcionalizar la partícula de oro, es decir, fijarle químicamente en su superficie una

proteína capaz de ligarse selectivamente a las moléculas que componen el tejido cancerígeno. Las nanopartículas ingresan al cuerpo vía intravenosa, debido a su reducido tamaño, viajan con el flujo sanguíneo sin ser obstaculizadas por el sistema inmunológico hasta toparse con el tumor y adherirse a él. El paso final consiste en calentarlos externamente con una lámpara infrarroja, que es inofensiva a los tejidos de piel y órganos, pero que

tiene la propiedad de calentar la cáscara de oro unos 15-20°C que son suficientes para eliminar las células del tumor por calentamiento y dejando intacto el entorno sano.

Estos ejemplos dan una idea del potencial de aplicaciones de las nanopartículas de oro en el área industrial y médica.

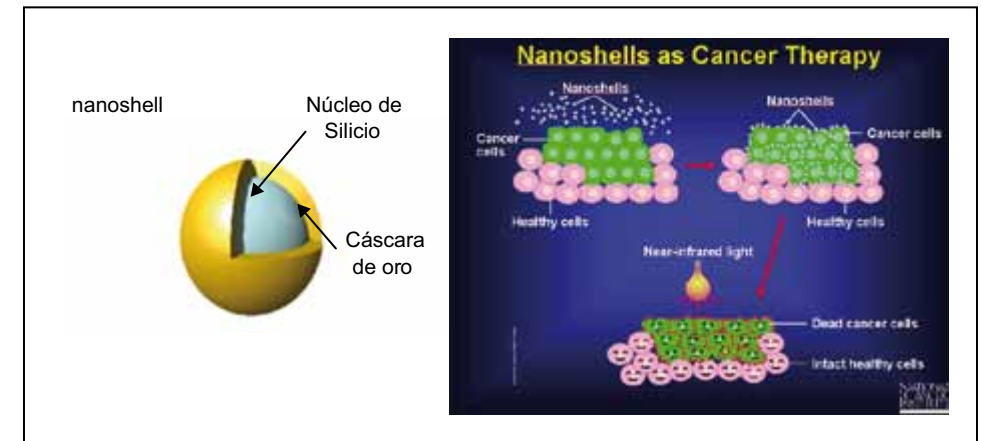


Figura 9. Estructura de un nanocascarón (nanoshell) de oro para aplicaciones en la terapia del cáncer. A la derecha una ilustración del Instituto Nacional del Cáncer (USA).

La minería en el Perú

La producción minera del Perú, es parte fundamental de nuestra economía. Equivale al 60% de las exportaciones totales. En la Tabla 2, se observa la posición mundial y latinoamericana que ocupa el país en la producción de minerales. El Perú, es el primer productor mundial de plata y el segundo en zinc y cobre; en Latinoamérica, es el primero en nueve metales de gran interés comercial, incluyendo el oro y la plata.

Si nuestra minería es tan competitiva como la de los países tecnológicamente más avanzados, ¿porqué no pensar que una buena estrategia y decisión nos pueden convertir en un país en capacidad de transformar nuestros minerales y exportarlos como nanomateriales?.

4. OBJETIVO

Implementar una planta piloto para la fabricación de nanopartículas de oro, plata, óxido de cobre y óxido de zinc.

Subproyecto: Nanopartículas como bactericidas para purificar el agua.

La mejora de la calidad del agua y su acceso por las poblaciones alejadas de las grandes ciudades es un tema de importancia mundial. Se estima que 1,200 millones de personas en el mundo no tienen acceso a agua tratada y que 3,900 niños mueren al año por enfermedades transmitidas por el agua contaminada (Shannon, M. et al. 2008). En el Perú, la purificación del agua es una necesidad que beneficiaría a grandes sectores de la población. Un ejemplo, de los niveles de contaminación a los que se exponen los

Tabla 2. Ranking de producción de minerales.

Ranking de Producción 2009		
Mineral	Mundial	Latinoamérica
Plata	1	1
Zinc	2	1
Estaño	3	1
Bismuto	3	1
Telurio	3	1
Mercurio	3	1
Plomo	4	1
Oro	6	1
Cobre	2	2
Molibdeno	4	2
Selenio	7	2
Cadmio	14	2
Hierro	17	5

Fuente: Ministerio de Energía y Minas.

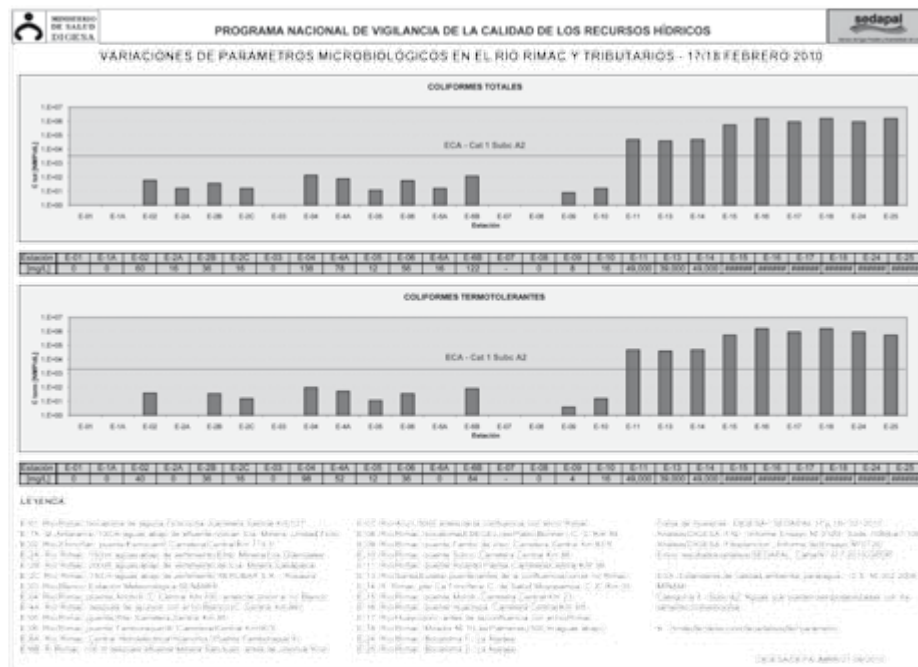


Figura 10. Niveles de contaminación de coliformes registrados a lo largo del río Rímac desde su nacimiento en la laguna Ticticocha. La ubicación de las estaciones de monitoreo se indican en la tabla de la parte inferior. La Línea roja horizontal indica el límite máximo permitido de contaminación.

pobladores asentados a lo largo del río Rímac lo podemos apreciar en la Fig 10. El gráfico muestra el nivel de contaminación de coliformes (totales y termoresistentes) monitoreadas en diferentes estaciones a lo largo del Rímac, empezando en la laguna Ticticocha donde se inicia el río (Estación 01) hasta las bocatomas de la planta de tratamiento La Atarjea (Estaciones 24 y 25).

La línea horizontal de color rojo representa el límite máximo permitido, que como se aprecia es sobrepasado a partir de la estación E11 que se encuentra en el km 38 de la Carretera Central (Ministerio de Salud).

Se han realizado varios proyectos individuales para encontrar viabilidad técnica y económica a este problema. Existe consenso en algunas ideas generales. Entre los diferentes tipos de contaminantes existen dos principales: los metales pesados, generados por actividad minera o por ocurrencia natural (accidente geológico) y la contaminación por microorganismos patógenos, principalmente bacterias y virus.

Por otro lado, debido a lo difícil de la geografía del Perú en muchas poblaciones andinas no es económicamente viable construir grandes plantas de tratamiento de agua por las técnicas convencionales. La solución técnica y económica es el uso de dispositivos dirigidos directamente al usuario, transportables, de bajo costo. Los filtros bactericidas cumplen estos requisitos. Están compuestos de un soporte cerámico (elemento filtrante) impregnados de nanopartículas de algún metal u óxido con propiedades bactericidas. Aunque se sigue estudiando el mecanismo, se ha demostrado que las

nanopartículas de plata y óxido de cobre tienen esta propiedad.

Un subproyecto derivado del proyecto principal propuesto es la fabricación de nanopartículas de plata y óxido de cobre como componente de filtros para desinfectar agua. En esta aplicación será necesario optimizar el tamaño, forma y composición de las nanopartículas para que puedan ser impregnadas en el cerámico y distribuidas uniformemente en su volumen.

5. SIGNIFICADO DEL PLANTEAMIENTO EN ASPECTOS DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

Como lo revelan las estadísticas y los pronósticos, la nanotecnología en los próximos años será determinante en nuestras relaciones de producción y consumo. Es importante resaltar que esta vez no se trata de un producto innovador como pudo ser el plástico en su momento. Si algo caracteriza a la nanotecnología es su carácter transversal, penetrará en campos tan diversos como la energía, medicina, computación, electrónica, las ingenierías y el medio ambiente. Como ha ocurrido con otros hitos tecnológicos, el desconocimiento de la ciencia básica detrás de la nanotecnología nos llevará a situaciones de dependencia.

Uno de los indicadores mas adecuados para medir la productividad científica de un País es conociendo el número de publicaciones que realiza. En la Figura 11, se muestra un cuadro que ilustra la cantidad de publicaciones en nanotecnología en el mundo, registrado para países que tienen mas de 250 publicaciones.

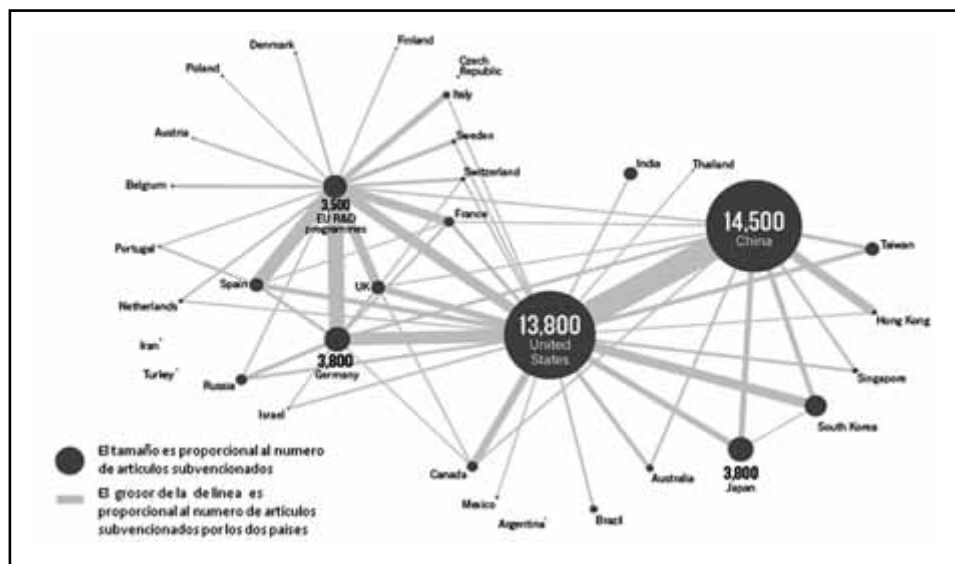


Figura 11. Producción mundial de ciencia en nanotecnología. Se indica el número de publicaciones de los cinco más productivos (Modificado de Shapira, P. and Wang J. 2010).

Sólo se registran aquellas publicaciones que recibieron subvención, lo cual es una medida de la eficiencia de las inversiones públicas en investigación. En Latinoamérica, sólo Brasil, México y Argentina lograron pasar la valla.

El nivel de publicaciones en nanotecnologías en nuestro país es muy bajo. Según un reporte elaborado por la Organización de Estados Iberoamericanos (OEI), en Iberoamérica, el mayor número de publicaciones en nanotecnología entre los años 2000-2007, corresponde a España, Brasil, México y Portugal. En un segundo bloque, Chile Colombia, Cuba, Venezuela, Uruguay y Perú (con 50 publicaciones).

La realización de este proyecto, permitirá que los científicos peruanos focalicen sus líneas de investigación, un tanto dispersas, y sumen su producción intelectual en nanotecnología.

6. RESULTADOS ESPERADOS Y DESCRIPCIÓN DE BENEFICIOS

Desde el punto de vista comercial, se lograrán altas tasas de retorno al exportar minerales con alto valor agregado.

La transformación de oro, plata y los óxidos de cobre y zinc en nanopartículas, incrementará el precio de venta de estos materiales en factores de 8.4, 8.5, 31 y 158 respectivamente.

Las empresas mineras serán socias y principales soportes financieros en la etapa inicial, es decir en el equipamiento, infraestructura y gastos operativos que demanden la construcción de la planta piloto.

Se formarán empresas nacionales competitivas con la capacidad de generar innovaciones en los procesos de producción y aplicación de nanomateriales. Debido al

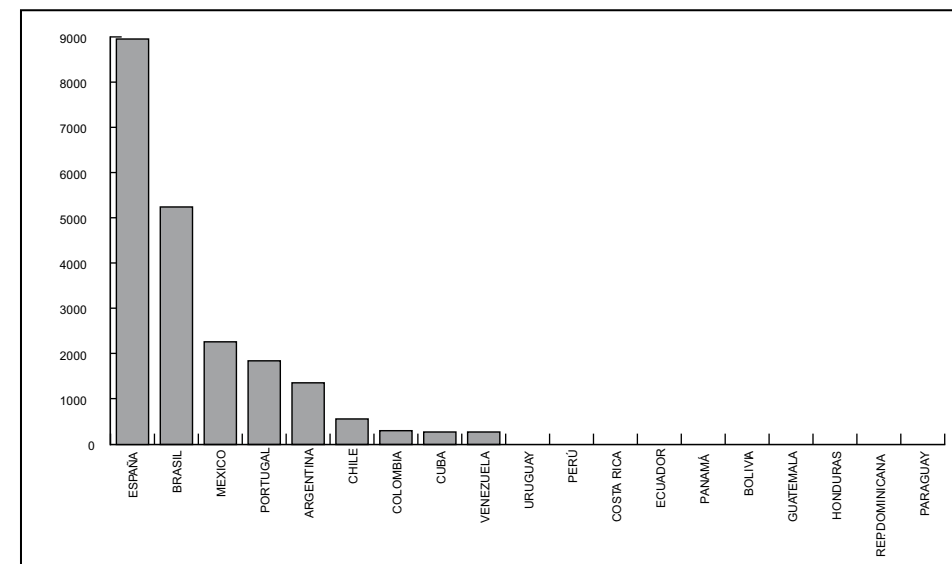


Figura 12. Número de artículos publicados sobre nano tecnología entre los países iberoamericanos (OEI 2009).

alto contenido de ciencia fundamental que lleva la nanotecnología, las empresas que se formen, estarán vinculadas a grupos de investigación de universidades e institutos sectoriales de investigación.

7. PLANIFICACIÓN TEMPORAL DE ACTIVIDADES

En términos generales, las técnicas más conocidas para fabricación de nanopartículas se pueden dividir en cuatro:

- Mecánicas
- Producción húmeda
- Síntesis por evaporación
- Proceso en fase gaseosa

Aunque éstas técnicas han sido probadas a nivel de laboratorio por los investigadores involucrados en este proyecto, no se han discutido comparativamente sobre cuál sería conveniente emplear en cada

uno de los metales y óxidos propuestos. Es probable que durante esta etapa inicial surjan métodos alternativos que combinen dos técnicas de la clasificación anterior. Por esta razón, la primera tarea del proyecto es la consolidación de los métodos adecuados desde los puntos de vista técnico y económico. Los materiales obtenidos, a nivel de laboratorio, deberán ser caracterizados física y químicamente hasta optimizar sus parámetros de fabricación. El siguiente paso sería establecer la calidad de insumos, tiempos de operación, ciclo de vida de los materiales empleados y todas aquellas variables que aseguren la reproducibilidad del proceso a escala de laboratorio. La información obtenida permitirá realizar los cálculos de escalamiento a nivel de planta piloto y finalmente su construcción y evaluación.

Por lo tanto, las tareas del proyecto y los tiempos de ejecución son:

Tabla 3. Planificación temporal de actividades por tareas (meses).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
T1															
T2															
T3															
T4															
T5															
T6															

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
T1															
T2															
T3															
T4															
T5															
T6															

T1 Consolidación de las técnicas a nivel laboratorio, 7 meses.
 T2 Caracterización del material obtenido, permanente.
 T3 Determinación de parámetros óptimos de fabricación, 6 meses.
 T4 Reproducibilidad del proceso, 5 meses.
 T5 Diseño de planta piloto, 4 meses.
 T6 Construcción y evaluación de planta piloto, 8 meses.

actualmente disponible por los grupos participantes.
 Los grupos de investigación participantes del proyecto provienen principalmente de tres universidades y un Instituto: Universidad Nacional de Ingeniería, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Universidad Peruana Cayetano Heredia y el Instituto Peruano de Energía Nuclear.

La distribución temporal de las tareas por cada mes se muestra en la Tabla 3.

Todos ellos disponen de laboratorios con equipamientos propios, en algunos casos, compartidos con otros grupos de investigación. Cuentan con un presupuesto destinado a sus propios proyectos lo cual incluye las facilidades de mantenimiento y acceso a insumos que son costeados por sus propias instituciones.

8. DESCRIPCION DE INFRAESTRUCTURAY PERSONAL

8.1 Infraestructura

Dependiendo de los fondos disponibles para el proyecto, se tienen dos alternativas para la infraestructura.

Alternativa A: Utilizar la infraestructura

Esta alternativa constituye para el proyecto un ahorro de costos fijos. Su principal desventaja es la dispersión de equipamiento y personal.

Alternativa B: Construir un ambiente especial para el proyecto.

De acuerdo al equipamiento previsto, el área mínima de un Laboratorio para este proyecto sería de 120 m2 con las instalaciones funcionales para el proyecto, que son:

- Suministro apropiado de corriente, agua, aire comprimido
- Suministro de gases
- Plataforma anti vibración para los microscopios
- Sistemas de extracción de aire
- Control de humedad y temperatura ambiental
- Sistemas de seguridad

8.2 Equipamiento principal

Para caracterización:

- Difractómetro de rayos X
- Fluorescencia de rayos X
- Microscopio electrónico de barrido
- Microscopio electrónico de transmisión
- Microscopio de fuerza atómica
- Medidor de tamaño de partícula por dispersión de luz
- Análisis térmico (DSC, DTA, TGA)
- Analizador de área superficial específica (BET)
- Espectrómetro de rango infrarrojo medio y cercano
- Espectrómetro Raman
- Viscosímetro
- Cromatógrafo de gases

Para Síntesis

- Reactor de fase gas
- Cabezal de generación de flama
- Módulo de vacío
- Módulo de compresión
- Módulo de baja temperatura
- Módulo de alta temperatura

- Módulo de separación
- Extractores
- Molino planetario
- Molino de atrición
- Tamizadores
- Agitador de tamizadores

8.3 Personal

Los investigadores que lideran el proyecto, trabajan en nanotecnología, en los aspectos experimentales de la fabricación o manipulación de nano materiales.

Las universidades, Laboratorios/División y Jefes que liderarían este proyecto se indican a continuación.

Universidad Nacional de Ingeniería

- Laboratorio de Películas Delgadas (Dr. Walter Estrada, Físico; Dr. Hugo Alarcón, Químico).
- Laboratorio de Materiales Nanoestructurados (Dr. Abel Gutarra, Físico).

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

- Laboratorio de Química Cuántica y Nuevos Materiales (Dr. Aldo Guzman, Químico).

Universidad Peruana Cayetano Heredia

- Laboratorio de Moléculas Individuales (Dr. Daniel Guerra, Biólogo).

Instituto Peruano de Energía Nuclear

- División de Materiales (Dr. José Solís, Físico).

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acmite Market Intelligency. 2008. Market Report:World Catalyst Market. June 2008. Ratingen, Germany.

Gutarra. A. 2008. Estado de Situación de la Nanotecnología en el Perú, ITDG. Lima, Perú.

Keel T., Holliday R., and Harper T. 2010. White Paper: Gold for good - gold and nanotechnology in the age of innovation. World Gold Council, London, United Kingdom.

Klabunde K. J. (Editor) 2001. Nanoscale Materials in Chemistry, New York, Wiley Interscience.

OEI 2009. La nanotecnología en Iberoamérica, Informe del Observatorio Iberoamericano de Ciencia, Tecnología

e Innovación del 2009. Centro de Altos Estudios Universitarios de la OEI.

Palmberg. C., Dernis, H. and Miguet, C. 2009, Nanotechnology: An Overview Based on Indicators and Statistics, OECD Science, Technology and Industry Working Papers, No. 2009/07.

Shannon, M. et al. 2008. Science and technology for water purification in the coming decades. Nature 452:301-310,

Shapira, P. and Wang J. 2010. Follow the money, Nature, 468: 627-628.

Xuzhou Hongwu Nanometer Material LTD. 2010. Guangdong. China.

2 BIOTECNOLOGÍA

MEGAPROYECTO EN BIOTECNOLOGÍA: Biodiversidad, Biotecnología y Bioeconomía: Valorización biotecnológica de la biodiversidad

Marcel Gutiérrez-Correa, Ph.D., Universidad Nacional Agraria La Molina

Comentarios al Megaproyecto de Biotecnología:

- **Valorización biotecnológica de la biodiversidad: La alternativa de desarrollo**
Gretty K. Villena, Ph.D., Universidad Nacional Agraria La Molina
- **La Genómica Funcional de Plantas en un Megaproyecto de Biodiversidad**
Luis DeStefano-Beltrán, Ph.D., Universidad Peruana Cayetano Heredia
- **La importancia de la Fisiología en un Megaproyecto de Biodiversidad**
Gustavo Gonzales Rengifo, MD., Dr. Sc., Universidad Peruana Cayetano Heredia

MEGAPROYECTO EN BIOTECNOLOGÍA: Biodiversidad, Biotecnología y Bioeconomía: Valorización biotecnológica de la biodiversidad

Marcel Gutiérrez-Correa, Ph.D., Universidad Nacional Agraria La Molina

RESUMEN

El Perú es uno de los países megadiversos cuya biodiversidad constituye su mayor riqueza y la fuente para el desarrollo de una industria competitiva que, mediante el empleo de la biotecnología, puede transportar al país hacia una competitividad aceptable dentro del contexto global y de la ya en marcha bioeconomía mundial. La valorización de la biodiversidad endémica mediante su transformación en productos comerciables de alto valor de mercado constituye una prioridad nacional que debe atenderse en forma urgente. A pesar que la biodiversidad tiene un potencial económico enorme, ésta se encuentra bajo diversos tipos de amenazas que pueden en el largo plazo reducir seriamente su transformación en productos comerciables. En el presente artículo se analiza el estado del arte referente a la biodiversidad, la biotecnología y la bioeconomía y se propone el megaproyecto de investigación “Valorización biotecnológica de la biodiversidad” a realizarse en 15 años teniendo un incremento de 1 a 3% en el producto bruto interno como efecto global. El megaproyecto tiene como objetivo general “utilizar la biodiversidad endémica para la generación de conocimientos y productos comerciables de alto valor de mercado mediante procesos biotecnológicos con un impacto significativo en el PBI” y consta de

cinco actividades interrelacionadas y multidisciplinarias.

1. INTRODUCCIÓN

En el presente siglo la ciencia es la base de todas las tecnologías sobre las cuales girará el desarrollo mundial. Con el Perú como signatario de un acuerdo comercial de libre comercio con los Estados Unidos (EEUU), la competitividad y la innovación resultan fundamentales para poder utilizar esta vía como motor del desarrollo nacional. El crecimiento económico experimentado de los últimos años ha estado basado en un incremento de las exportaciones primarias pero las posibilidades de sostener este ritmo son cada vez menores a mediano y largo plazo, a menos que se tome una decisión de estado y ejecute una política muy seria y acelerada de promoción de la ciencia y la tecnología que permita en el plazo más corto posible realizar innovaciones y desarrollos tecnológicos basados en los recursos genéticos de nuestra biodiversidad. En este aspecto, la biotecnología es probablemente la única posibilidad para lograr una competitividad aceptable dentro del contexto global y de la ya en marcha bioeconomía mundial. En tal sentido, en el presente artículo se realiza una breve conexión entre la biodiversidad, la biotecnología y la bioeconomía como nuevo modelo económico y propone el megaproyecto

de interés nacional: “Valorización biotecnológica de la biodiversidad”.

2. BIODIVERSIDAD

La importancia de la biodiversidad y de su papel fundamental en el quehacer social, económico y ambiental es generalmente aceptada con pocos reparos. El Perú es uno de los países megadiversos cuya biodiversidad constituye su mayor riqueza y la fuente para el desarrollo de una industria competitiva. El mayor valor económico de la biodiversidad está en los genes. A manera de ejemplo sobre el potencial económico basado en los genes de la biodiversidad peruana conocida hasta el momento, se ha calculado la existencia de 283 millones de genes (Gutiérrez-Correa, 2005). Desde la concepción bioeconómica la valoración de la biodiversidad implica la incorporación de todos los niveles de organización en que ésta se subdivide, más allá de lo que la economía de recursos naturales y la economía ambiental toman en cuenta (Figura 1). Es decir, no sólo se debe valorar los servicios ecológicos sino también la misma base de la biodiversidad: los genes (Gutiérrez-Correa, 2009b).

La identificación rápida de muestras biológicas o fragmentos de origen biológico, siempre ha sido deseable, pero rara vez ha sido posible debido a la escasez de especialistas en historia natural. Muy a menudo, para un grupo particular de organismos sólo hay un experto en todo el mundo, y nadie puede esperar que una sola persona pueda identificar todos los organismos que sea relevantes para los estudios ecológicos (Chase & Fay, 2009). Regiones cortas estandarizadas de ADN -o “códigos de barras” - se han utilizado para identificar material biológico de muchos grupos de animales (Herbert et al., 2003). El enfoque de códigos de barras también tiene un gran potencial para la identificación de las plantas (Kress et al., 2005) y hongos, pero se enfrenta a retos diferentes cuando se aplican a estos grupos. Por ahora, existe un consenso para un código de barras de plantas (Ausubel, 2009) basado en dos regiones cortas de DNA plastidial (rbcL y matK) (CBOL Plant Working Group, 2009). Sin duda, este tema es de importancia nacional para codificar la agrobiodiversidad (y biodiversidad) y de relevancia en los aspectos de denominación de origen.

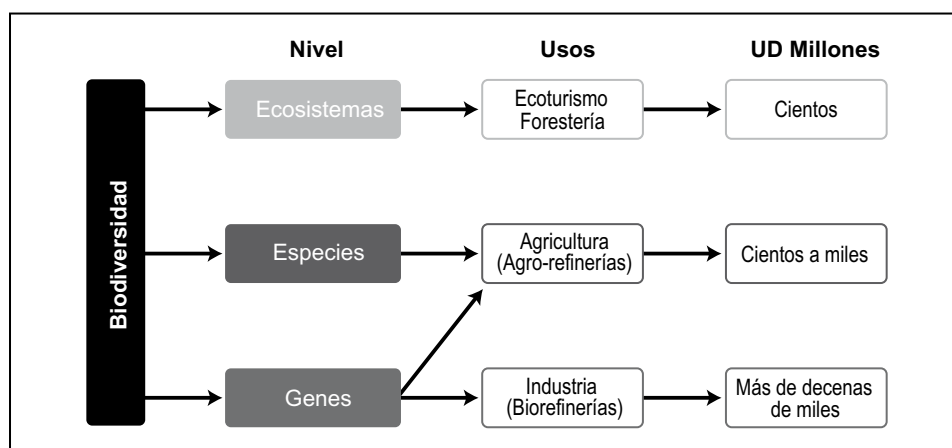


Figura 1. Usos sostenibles directos de la biodiversidad (adaptado de Gutiérrez-Correa, 2009b).

La gran mayoría de los microorganismos presentes en los diversos medioambientes del planeta no pueden aún ser cultivados ni estudiados exhaustivamente. Sin embargo, las técnicas moleculares, cada vez más abundantes, permiten conocer su presencia y sus genomas pueden ser estudiados, convirtiéndose en una exorbitante fuente de genes (Mathur et al., 2005). La utilización de técnicas moleculares para el estudio de los genomas presentes en el medio ambiente ha dado lugar a una nueva herramienta – o área, para algunos – denominada metagenómica (Riesenfeld et al., 2004; Schloss & Handelsman, 2005; Streit & Schmitz, 2004; Zeyaulah et al., 2009). La búsqueda dirigida de nuevos (micro)-organismos se denomina bioprospección y, en gran medida, ha sido utilizada convencionalmente en la microbiología industrial. El avance de la metagenómica ha permitido dirigir la búsqueda y aislamiento hacia los genes mismos, sin necesidad de aislar los microorganismos individuales, dando lugar a la bioprospección molecular. La metagenómica se refiere a la extracción, la clonación y el análisis de la dotación genética completa de un hábitat; es un enfoque que permite la investigación de la amplia diversidad de genes individuales y sus productos, así como el análisis de operones completos codificadores de rutas de biosíntesis o degradación. La palabra ‘metagenómica’ fue acuñada (Handelsman, 2004) para capturar la noción de análisis de una colección de artículos similares pero no idénticos, como en un meta-análisis, que es un análisis de análisis (Singh et al., 2009). La metagenómica también hace que sea posible responder a preguntas ecológicas clave al permitir a los científicos relacionar funciones potenciales a microorganismos específicos dentro de comunidades multi-

especie del suelo (Schmeisser et al., 2007). La bioprospección molecular puede ser aplicada a genomas de especies o a metagenomas. La bioprospección química (BpQ) se refiere a la identificación de principios activos (Douwes et al., 2008).

Nuestra enorme biodiversidad constituye uno de los motores para la innovación y desarrollo de nuevos procesos biotecnológicos y para nuestra inserción en la bioeconomía mundial. En el caso de los principios activos vegetales, cuya presencia es debida generalmente a mecanismos de respuesta a situaciones de estrés y como parte del metabolismo secundario, los precios de estas sustancias son bastante altos (Cuadro 1). El aprovechamiento sostenido de estas especies mediante su cultivo agronómico implica su domesticación lo cual tiene enormes dificultades (Canter et al., 2005). Para estos productos de la biodiversidad vegetal las alternativas biotecnológicas de producción mediante cultivos celulares (Donnez et al., 2009; Kintzios et al. 2004; Rao & Ravishankar, 2002) o mediante factorías celulares son las que, por un lado protegen a la biodiversidad de la depredación y, de otro lado, generan productos de mayor grado de pureza y mejores precios (Gutiérrez-Correa, 2008b).

La biotecnología moderna ha demostrado que los genes constituyen, por si mismos, la materia prima para la generación de bienes y servicios de muy alto valor de mercado. Adicionalmente, la ingeniería metabólica, la evolución dirigida y la biología sintética se constituyen en poderosas herramientas biotecnológicas con las que se generan no sólo los comóditos agrícolas e industriales actuales (procedentes de la industria petroquímica)

Tabla 1. Precios de algunos principios fitoquímicos.

Producto	Uso	Especie	Precio US\$/kg
Ajmalicina	Antihipertensivo	<i>C. roseus</i>	37,000→3,215(CC)*
Artemisinin	Antimalárico	<i>Artemisia annua</i>	1,200→100 (FC)**
Berberina	Relajante intestinal	<i>C. japonica</i>	3,250
Capsaicina	Contrairritante	<i>Ca. frutescens</i>	750
Elíptica	Antitumoral	<i>Orchrosia elliptica</i>	240,000
Shikonina	Antibacteriano	<i>L. erythrorhizon</i>	4,500(CC)*
Taxol	Anticancerígeno	<i>Taxus brevifolia</i>	600,000
Vincristina	Antileucémico	<i>C. roseus</i>	2'000,000
Vinblastina	Antileucémico	<i>C. roseus</i>	1'000,000

* CC, precio procedente de cultivo de células.
 ** FC. Precio procedente de factorías celulares.

Tabla 2. Exportaciones peruanas en el año 2009.

Sector	US\$ Millones	Estructura porcentual*
Total	26738.22	100 ↓
Tradicional	20401.61	76.3% ↓
• Pesquero	1683.22	6.3% ↓
• Agrícola	636.22	2.38% ↓
No tradicional	6180.52	23.11% ↓
• Agropecuario	1824.52	6.82% ↓
• Textil	1494.53	5.59% ↓
• Pesquero	526.65	1.97% ↓
• Químico	836.17	3.13% ↓
(etanol)	(33.49)	(0.12% ↑)
• Maderas y papeles	334.88	1.25% ↓
• Pieles y cueros	17.79	0.07% ↓
• Varios	1302.09 ↓	

Fuente: SUNAT
 Elaboración propia.
 *El sentido de las flechas indican aumento o disminución respecto al año 2008.

sino los nuevos productos que serán demandados en el futuro (Figura 2). La demanda de genes será cada vez más elevada debido particularmente al incremento de la población mundial, la limitación de tierras agrícolas y de agua, la limitación de combustible fósil y el cambio climático. La valoración económica de los genes resulta extremadamente importante dentro del modelo bioeconómico. Sin embargo, no existe experiencia ni metodologías adecuadas para realizar una valoración coherente de los genes toda vez que los mercados aún no han sido claramente establecidos y son muy pocos productos existentes. A pesar de esto, se ha realizado una primera valoración de los genes endémicos económicamente útiles de la biodiversidad peruana lo cual arroja un valor dinámico potencial (VDP) de USD 84.9 billones y un valor dinámico comercial (VDC) de USD 8,400 billones/año (ver, Gutiérrez-Correa, 2009b).

los métodos utilizados para convertir materia prima en bienes utilizando en alguna etapa organismos vivos o sus productos”, ha tomado varios significados desde que la tecnología recombinante fue desarrollada a principios de los 70’s. La biotecnología (“la aplicación de los procesos biológicos desarrollados por células microbianas, vegetales o animales, por sus componentes o por sus enzimas a la ingeniería para la obtención de bienes y servicios”) (Gutiérrez-Correa, 2005) es extremadamente rica en su oferta de posibilidades productivas conjuntamente con las relacionadas con la introducción de genes foráneos en plantas, animales y microorganismos. La biotecnología es una macrodisciplina interactiva donde participan algunos aspectos de la biología, de la química y de la ingeniería de sistemas y de procesos, ofreciendo soluciones económicas en todos los sectores.

3. BIOTECNOLOGÍA

El término biotecnología que fue acuñado por Karl Ereky (1919), a principio del siglo pasado para referirse a “todos

El advenimiento a finales de los 1980s de la genómica ha permitido no sólo ahondar en el conocimiento de la expresión génica sino también desarrollar nuevas herramientas biotecnológicas. Actualmente, la genómica se divide en

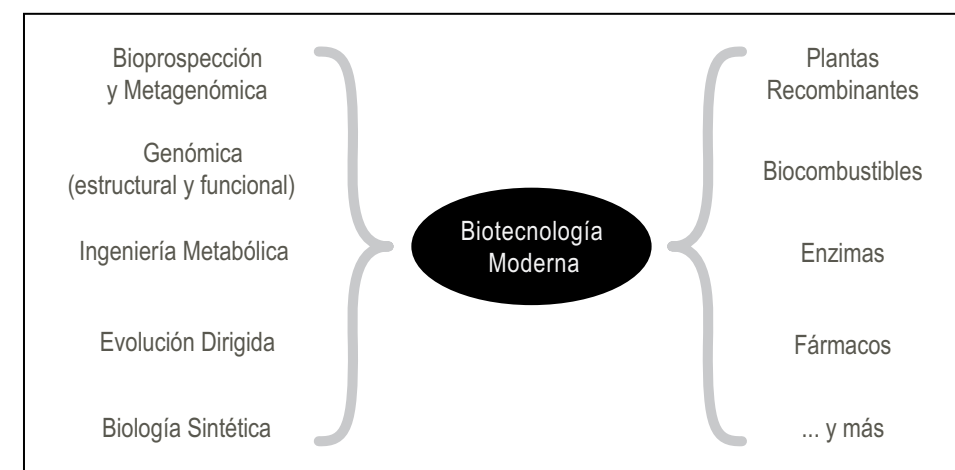


Figura 2. Herramientas genómicas utilizadas por la biotecnología moderna para la generación de bienes y servicios.

estructural y funcional (Destefano-Beltrán, 2008; Villena & Gutiérrez-Correa, 2008). La genómica estructural, comprende el mapeo, secuenciamiento y anotación de genomas, reforzada con nuevas técnicas llamadas “next generation” (Branton et al., 2008; Shendure & Ji, 2008). La genómica funcional, consiste en el desarrollo y aplicación de estrategias experimentales para el estudio global de la función de genes, asistido por la bioinformática (Hieter & Boguski, 1997). El análisis global incluye el estudio de interacción de los productos de expresión génica, a través de la transcriptómica (expresión diferencial y regulación global de genes), proteómica (estructura y función, niveles de expresión e interacciones de proteínas), metabolómica (parámetros cinéticos, flujos y redes metabólicas y modelamiento del metabolismo) (Aggarwal & Lee, 2003; Banerjee & Zhang, 2002; Bino et al., 2004; Oliver et al., 2002). Recientemente, se ha considerado que la complejidad del metaboloma requiere un estudio separado de los flujos metabólicos, dando lugar a otra rama de la genómica funcional denominada *flujómica* (Wittmann, 2007) (Figura 3).

Las disciplinas genómicas (u “ómicas”) han permitido el desarrollo de dos poderosas herramientas biotecnológicas llamadas *ingeniería metabólica* y *evolución dirigida*, cuya utilización ya está dando lugar a una nueva generación de organismos transgénicos. La ingeniería metabólica es el mejoramiento de las actividades celulares mediante la manipulación de las funciones enzimáticas, de transporte y regulatorias, utilizando la genómica funcional y la manipulación específica de genes (Lessard et al., 2002; Raab et al., 2005). La ingeniería metabólica constituye

una poderosa tecnología dirigida hacia el diseño inteligente de nuevas vías metabólicas, sistemas celulares e incluso fenotipos a través del uso de la tecnología de ADN recombinante y difiere de otras estrategias de ingeniería celular en su enfoque sistémico dirigido a la identificación y entendimiento de las mayores redes metabólicas en la célula (Raab et al., 2005). Convencionalmente, el primer paso la modificación racional de una vía metabólica requiere la identificación de la “reacción limitante” en la vía metabólica de interés basada en el flujo de carbono. La solución a este cuello de botella requiere la sobreexpresión de gen heterólogo (foráneo) que aminore este paso limitante o que inactíve genes que conllevan a la formación de subproductos no deseados (Vemuri & Aristidou, 2005). Mientras que esta estrategia se ha probado con moderado éxito, otros aspectos del metabolismo no pueden ser exitosamente modulados debido a los mecanismos de regulación complejos que presentan las células como parte de su robustez. Debido a ello, uno de los mayores retos para incrementar la eficiencia de la ingeniería metabólica es la identificación y análisis de las redes reguladoras que gobiernan la activación o atenuación de las vías metabólicas en la célula (Lessard et al., 2002). El fin último de la ingeniería metabólica es lograr el fenotipo deseado en la célula sin la alteración o con mínimo impacto del resto de su metabolismo. En este aspecto, la información generada por la genómica funcional ha tenido un impacto significativo en la obtención de las primeras células y organismos metabólicamente diseñados.

La evolución dirigida es un término que se utiliza para describir varias técnicas que permiten la obtención de variantes

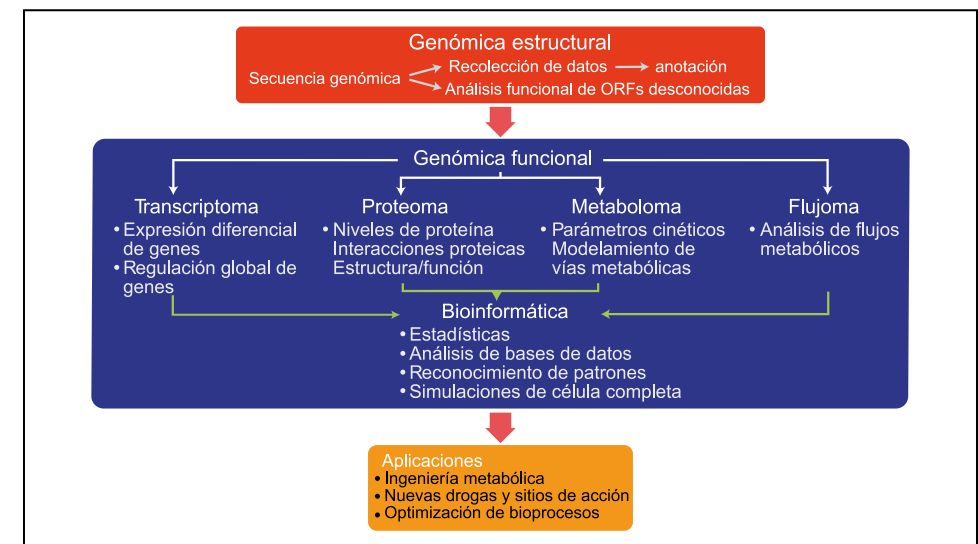


Figura 3. Genómica y sub-disciplinas.

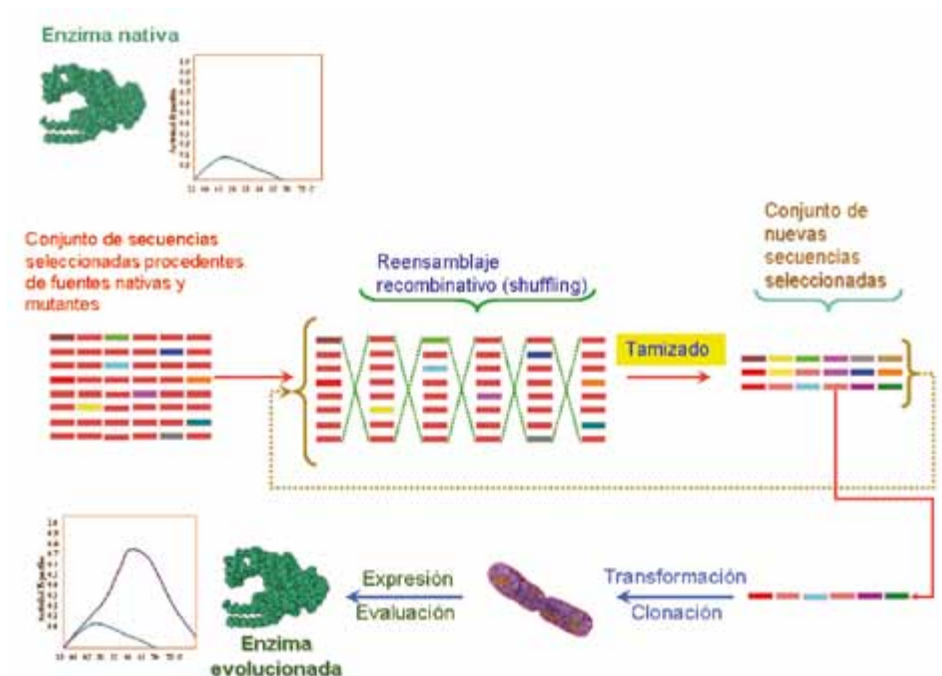


Figura 4. Visión esquemática de la evolución dirigida.

proteicas y la selección de aquellas con funciones deseables (Bergquist et al., 2005; Petrounia & Arnold, 2000; Yuan et al., 2005). Esta estrategia se basa en la aplicación iterativa de un simple algoritmo basado en los principios de la evolución Darwiniana (variación, presión selectiva y selección de nuevas variantes): primero se genera diversidad molecular mediante técnicas de mutagénesis randomizada y/o recombinación del gen de la enzima de interés o de una familia de genes relacionados. Luego, las variantes mejoradas se identifican por un tamizaje basado en la característica de interés y el gen o genes seleccionados se utilizan para las siguientes rondas de evolución (Eijsink et al., 2005). Así, una enzima puede modificarse en su actividad, selectividad, ambientabilidad a partir de su gen y de variantes nativas y mutadas de éste mediante rondas sucesivas de PCR o reensamblaje recombinativo (DNA shuffling), logrando mejoras progresivas hacia el objetivo evolucionado (Figura 4) (Chatterjee & Yuan, 2006). De otro lado, la evolución dirigida puede aplicarse también a la modificación de vías metabólicas.

Una de las tecnologías generadas por la ingeniería metabólica es la construcción de factorías celulares, pudiendo en esto intervenir también la evolución dirigida y la biología sintética. Las factorías celulares son microorganismos (Ferrer, 2007), células vegetales (Oksman-Caldentey & D. Inze, 2004) o células animales (O'Callaghan & James, 2008) genéticamente diseñados mediante ingeniería metabólica (herramienta genómica que se describirá más adelante) para utilizar y convertir diversos sustratos en productos (bio)químicos. Las factorías celulares constituyen un tema importante

de investigación toda vez que son un elemento de producción fundamental en la biotecnología industrial de avanzada y son, además, elementos fundamentales en el establecimiento de biorefinerías. Adicionalmente, las factorías celulares microbianas pueden ser utilizadas para la producción de metabolitos vegetales como ha sido demostrado para el caso de la droga antimalárica artemisinina (Ro et al., 2006). Existe bastante investigación en factorías celulares para la producción de etanol (Van Vleet & Jeffries, 2009), isobutanol (Atsumi et al., 2009) y otros combustibles (Koffas, 2009; Yan & Liao, 2009), isoprenoides y carotenoides (Das et al., 2007; Klein-Marcuschamer et al., 2007), aminoácidos y proteínas (Punt et al., 2002; Yakandawala et al., 2008), ácido poliláctico (Jung et al., 2010; Taguchi et al., 2008) y poli-hidroxi-alcanoatos (Steinbüche & Lütke-Eversloh, 2003) para la fabricación de plásticos biodegradables, entre otros. Este tema estará sujeto a muchas investigaciones en el futuro y será alimentado con la participación de la biología sintética y de la nanotecnología (Villaverde, 2010).

4. BIOECONOMÍA

La economía basada en el petróleo ha prevalecido por más de un siglo, pero está siendo reemplazada en el presente siglo por un modelo basado en los genes denominado *bioeconomía* (Gutiérrez-Correa, 2008a). El moribundo modelo económico es difícilmente adaptable a los requerimientos de sostenibilidad y, más bien, produce una relación directa entre el crecimiento económico y la contaminación. Esta nueva visión ha surgido de las necesidades de agenciarse nuevas formas de energía y de materias primas industriales en reemplazo de los

combustibles fósiles, no renovables, cada vez más escasos y con precios cada vez más elevados. Sin embargo, desde un punto de vista personal la bioeconomía se define como *“una economía basada en la biotecnología que usa materias primas renovables, particularmente biomasa y recursos genéticos, para producir productos y energía al menor costo ambiental”* (Gutiérrez-Correa, 2008b). Así, como en la “vieja” economía los hidrocarburos son la unidad básica del comercio, en la bioeconomía los genes serán la unidad de comercio. A medida que se avance en la bioeconomía y más procesos industriales sean basados en biotecnología, la demanda sobre la innovación de los mismos o de nuevos productos se incrementará. Esto derivará en una demanda de genes a partir de los cuales lograr innovaciones de los procesos biológicos implicados en la producción biotecnológica.

En el 2010, el 20% (160 mil millones de dólares americanos) de los productos químicos serán producidos por biotecnología y a mitad de siglo la totalidad de la industria química a base de petróleo será reemplazada por la industria biotecnológica. Adicionalmente, a mitad del presente siglo se tendrá que producir suficiente cantidad de alimentos para satisfacer a una población mundial que superará los 9,000 millones de habitantes. En el Perú, en el año 2021 habrá que alimentar a 7 millones más de peruanos y en el 2041 a 17 millones más; sin embargo, la disponibilidad de tierra cultivable (alrededor de 4 millones de hectáreas) seguirá siendo la misma que en la actualidad a menos que se incrementen las áreas de producción a expensas del bosque – situación que debemos rechazar totalmente – o se incrementen significativamente sus

rendimiento y productividad (Gutiérrez-Correa, 2009a).

El modelo de producción a utilizar en bioeconomía demanda de cambios sustanciales toda vez que se requiere de una estrecha coordinación entre la producción de alimentos y materia prima y la producción industrial. Además, este modelo productivo debe sobrepasar la tendencia sostenible y convertirse en regenerativo en la medida que debe no sólo conservar el ambiente para las generaciones venideras sino que lo debe corregir y sanear permanentemente obteniendo los mayores rendimientos y productividades para lograr un desarrollo social y económico equitativo. En la bioeconomía se requiere que los sistemas productivos funcionen coordinadamente de tal manera que se maximice el uso de la energía a la vez que se produzca el menor daño ambiental. En este sentido, se ha propuesto un Sistema Productivo Integrado (SPI) formado por dos componentes interactuantes: las *agrorefinerías* y las *biorefinerías* (Figura 5) (Gutiérrez-Correa, 2008a, 2009a). Las agrorefinerías, integran la producción y la transformación en complejos industriales cuyas dimensiones no son necesariamente grandes pero con un alto nivel de conocimientos y priorizando la calidad, disminución de costos y la salud ambiental. Estas tienen como objetivo la producción de alimentos y derivados transformados y biomasa lignocelulósica que actuará como materia prima para el segundo componente del SPI. Las biorefinerías constituidas por un esquema industrial que tiene a la biomasa como materia prima y que mediante el uso de biocatalizadores (células y/o enzimas) en combinación con procesos químicos y termoquímicos, producirá una diversidad

de productos que reemplazarán a los producidos a partir del petróleo (para mayor discusión ver Gutiérrez-Correa 2009a).

5. MEGAPROYECTO VALORIZACIÓN BIOTECNOLÓGICA DE LA BIODIVERSIDAD

5.1 Justificación

El Perú requiere estar atento a los avances tecnológicos que ocurren en el mundo, particularmente aquellos que puedan afectar nuestras exportaciones, como nos ocurrió en el pasado en el caso del azúcar, principalmente debido a la aplicación de un proceso biotecnológico que convertía el almidón en jarabe de alto contenido de fructosa (Figura 6) (Gutiérrez-Correa, 2005). De otro lado, existe mucha expectativa respecto al uso de la biotecnología para el desarrollo del país, como ha sido demostrado en estudios Delphi de prospectiva realizados en el 2004 (Gutiérrez-Correa & Estrada, 2008) y en el 2010 (estudio no publicado). En ambos estudios, la prioridad es el uso de la biodiversidad y el empleo de las herramientas genómicas y la ingeniería genética.

Como ha sido expuesto anteriormente, la enorme biodiversidad presente en nuestro país representa un gran potencial económico el cual por ahora sólo representa una pequeña fracción de nuestras exportaciones (Cuadro 2). En el presente siglo debe priorizarse la transformación de los recursos biológicos en productos comerciables de alto valor de mercado. Si bien la biodiversidad presente en el país está constituida por muchos miles de especies, es preferible concentrar los esfuerzos en aquellas

especies endémicas sobre las cuales se puedan establecer derechos de propiedad con mayor facilidad.

A pesar que la biodiversidad tiene un potencial económico enorme en términos de VDP (Gutiérrez-Correa, 2009b), ésta se encuentra bajo diversos tipos de amenazas que pueden en el largo plazo reducir seriamente su transformación en productos comerciables, es decir en VDC. Un primer tipo de amenazas son de carácter geopolítico debido a que existen otros países megadiversos, algunos de los cuales con capacidades tecnológicas superiores a las nuestras. En un mundo cada vez más tecnológicamente competitivo esto representa una fuerte competencia por mercados demandantes de productos más diversificados (NRC, 1999; Pimm et al., 1995). Un segundo tipo de amenaza es de carácter tecnológico representado por los desarrollos biotecnológicos actuales, particularmente las factorías celulares y a mediano y largo plazo, los avances de la biología sintética (Foster & Church, 2007; Lu et al., 2009; Serrano, 2007). El tercer tipo de amenaza sobre la biodiversidad y sus posibilidades de uso comercial son de carácter ambiental. El cambio climático, la deforestación y las prácticas de uso de la tierra podrían ser causantes que para el 2050 se haya reducido el hábitat disponible para las especies vegetales amazónicas entre el 12 al 24%, lo cual conduce a que entre el 5 a 9% de las especies pase a un estado de “extinción” (Feeley & Silman, 2009).

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONCYTEC, consideró pertinente la elaboración de un megaproyecto de investigación en biotecnología. Sin embargo, previamente hay que tener en claro que un megapro-



Figura 5. Sistema integrado de producción utilizado en bioeconomía (adaptado de Gutiérrez-Correa, 2009a).

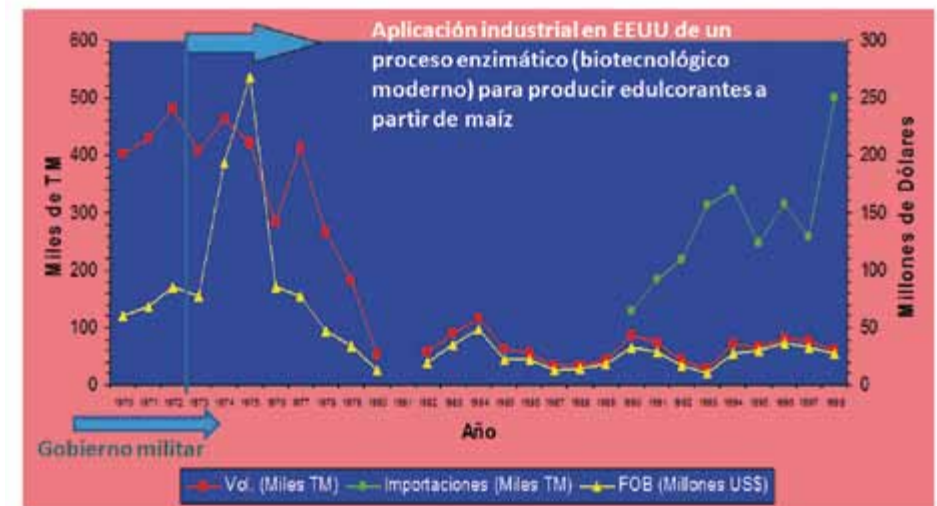


Figura 6. Historia de las exportaciones peruanas de azúcar o la historia de la ceguera tecnológica. Aún sin el gobierno militar y la reforma agraria, la industria del azúcar peruana estaba condenada por no tomar en cuenta los desarrollos tecnológicos en el mundo que podían afectarnos: la historia se está repitiendo al no involucrarnos en la biotecnología moderna como en el pasado.

yecto debe traer consigo una serie de efectos positivos sobre las actividades socioeconómicas y contribuir al desarrollo nacional. En general, un megaproyecto debe:

- a) incrementar el número de científicos involucrando a los estudiantes de postgrado (preferentemente de doctorado);
- b) incrementar el nivel de conocimientos científicos mediante el aumento significativo del número de artículos en revistas de alto impacto;
- c) incrementar el número de ingenieros;
- d) incrementar el conocimiento tecnológico mediante el aumento en el número de patentes y de empresas de base científica;
- e) contribuir a la mejora del medioambiente al desarrollar tecnologías limpias; y,
- f) debe transformar la inversión en un incremento en el producto bruto interno (Figura 7).

5.2 Problema Central

A pesar que la biodiversidad endémica del Perú constituye un enorme potencial económico a partir del cual el país podría cimentar gran parte de su crecimiento y desarrollo futuro, su participación actual en el PBI es prácticamente inexistente.

Causas

El problema mencionado anteriormente tiene muchas causas, muchas de las cuales son arrastradas desde decenas de años atrás. Algunas de las más notorias son las siguientes:

- 1) Falta de inversión en ciencia y tecnología;
- 2) Crecimiento basado en la exportación de productos primarios;
- 3) Pocos investigadores (bajo número de PhDs);
- 4) Infraestructura para la investigación científica generalmente insuficiente;
- 5) Inter y multidisciplinaridad casi inexistente en las actividades de investigación;

- 6) Desconocimiento de la biología molecular aplicada al estudio y uso de la biodiversidad;
- 7) Falta reglamentación de bioseguridad;
- 8) Ley de Propiedad Industrial conservadora;
- 9) Muy pocas empresas de base científica;
- 10) Predomina una visión de corto plazo en políticos, empresarios y en científicos.

Efectos

Los efectos producidos son a su vez muchos. Los mas saltantes son:

- 1) Muy poca producción científica y patentes biotecnológicas inexistentes;
- 2) Desarrollo futuro incierto;
- 3) Investigaciones repetitivas, generalmente de adaptación tecnológica con bajas posibilidades de innovación y poca contribución a la competitividad;
- 4) Biodiversidad conocida taxonómicamente pero de validez incierta;
- 5) Investigadores en biotecnología moderna en riesgo judicial debido a la falta de reglamentos que aseguren una investigación molecular segura y tranquila;
- 6) Desinterés del sector privado por invertir en ciencia y tecnología;
- 7) Pobre competitividad global en productos de alto valor de mercado.

Objetivos específicos

- 1. Establecer un catálogo molecular de toda la biodiversidad endémica mediante código de barras de ADN
- 2. Estudiar el genoma de especies de la agro-biodiversidad para su mejora genética
- 3. Estudiar los principios activos de alto valor de mercado en la diversidad vegetal
- 4. Determinar, aislar y secuenciar genes de alto valor económico de la biodiversidad
- 5. Desarrollar procesos biotecnológicos de productos génicos de alto valor comercial.

5.4 Actividades

Actividad 1: Catálogo molecular

Establecer un catálogo mediante Código de Barras de ADN de toda la biodiversidad endémica del Perú.

Instituciones:

En esta actividad participarían el Centro Nacional de Biotecnología Agropecuaria y Forestal (CNBAF) de próxima construcción, el Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IIAP), Laboratorios calificados y el INDECOPI como entidad receptora de información de su competencia.

Investigadores:

Sin ser excluyente, los investigadores de mayor participación en esta actividad son taxónomos, biólogos moleculares y bioinformáticos.

Producto/importancia:

- La información obtenida es fundamental para el establecimiento de las Denominaciones de origen.
- Igualmente, los códigos de barras

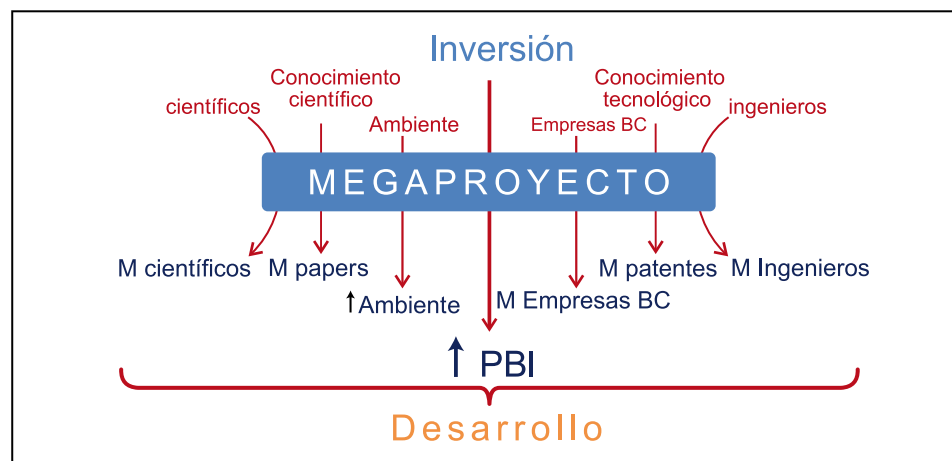


Figura 7. Posibles efectos de un megaproyecto. M = mayor número; ↑ = incremento.

- pueden soportar legalmente las Demandas de biopiratería.
- Un producto de esta actividad es la formación de Taxónomos moleculares y de bioinformáticos.

Actividad 2: Genomas de especies agrarias

Secuenciamiento y anotación de los genomas de kiwicha, quinua, alpaca y vicuña. Mejoramiento genético mediante cisgénesis para incremento de rendimientos, proteína, reducción de tóxicos, resistencia a cambio climático, calidad de fibra, valor agregado, etc. Existe ya un trabajo previo de catalogación y de recolección de accesiones de especies vegetales y estudios de genoma de alpaca, lo cual constituye un excelente punto de partida.

Instituciones:
CNBAF y Laboratorios calificados.

Investigadores:
Biólogos moleculares, bioinformáticos, fitomejoradores, ingenieros alimentarios, agrónomos y zootecnistas.

- Producto/importancia:*
- Variedades y razas mejoradas, incremento en exportaciones, productos derivados exportables.
 - Patentes y publicaciones en revistas de alto impacto.
 - Formación de especialistas.

Actividad 3: Bioprospección química

Tamizado, identificación, aislamiento, determinación de la estructura química de principios activos con actividad anticancerígena, antiinflamatoria y antibiótica. Estudio de la biosíntesis y sistemas de regulación. Estudios pre-clínicos.

Instituciones:
CNBAF, IIAP y Laboratorios calificados.

Investigadores:
Químicos, bioquímicos, fisiólogos, biotecnólogos, farmacólogos, médicos

- Producto/importancia:*
- Patentes y publicaciones en revistas de alto impacto.
 - Desarrollo de industrias farmoquímicas
 - Formación de especialistas.

Actividad 4: Bioprospección molecular

Búsqueda y aislamiento dirigido desde genomas de especies y metagenomas de genes únicos, operones o grupos génicos codificadores de enzimas, drogas (anticancerígenas, antiinflamatorias, antibióticos) y de características transferibles para resistencia a factores bióticos y abióticos de cultivos.

Instituciones:
CNBAF, IIAP y Laboratorios calificados.

Investigadores:
Biólogos, biólogos moleculares, biotecnólogos y bioinformáticos.

- Producto/importancia:*
- Patentes y publicaciones en revistas de alto impacto.
 - Desarrollo de agro-industrias.
 - Desarrollo de industrias farmoquímicas.
 - Formación de especialistas.

Actividad 5: Desarrollo de bioprocesos

Siguiendo el esquema de biorefinerías dentro de Sistemas Integrados de Producción:

- Diseño y optimización de cultivos celulares y radicales;
- Diseño de biorreactores especializados;

- Diseño y construcción de factorías celulares para drogas y biocombustibles;
- Evolución dirigida de sistemas enzimáticos;
- Diseño y optimización de sistemas de aislamiento y purificación de sustancias bioactivas.

Instituciones:
CNBAF, Laboratorios calificados y empresas de base científica.

Investigadores:
Biotecnólogos, bioinformáticos, ingenieros, biólogos/bioquímicos, ingenieros químicos.

- Producto/importancia:*
- Patentes y publicaciones en revistas de alto impacto.
 - Desarrollo industrial
 - Desarrollo de la industria farmoquímica
 - Incremento de las exportaciones
 - Formación de especialistas.

5.5 Metas económicas

El megaproyecto propuesto por el autor y que se resume en la Figura 8, se realizaría en un plazo de 15 años y daría lugar a metas económicas mencionadas a continuación:

- Ingresos directos por:*
- Nuevos productos exportables: por lo menos 3 drogas iniciales.
 - Productos génicos: por lo menos 5 (con un VDP de US\$ 150 millones y un VDC de US\$ 15,000 millones/año, teórico).
 - Incremento en las exportaciones de productos derivados de cultivos y crianzas nativos.

- Ingresos indirectos por:*
- Incremento de puestos de trabajo calificado y no calificado.
 - Incremento en rendimientos agrícolas.
 - Reducción de costos agrícolas.

- Efecto global en el PBI:*
- Incremento del PBI en 1-3%.

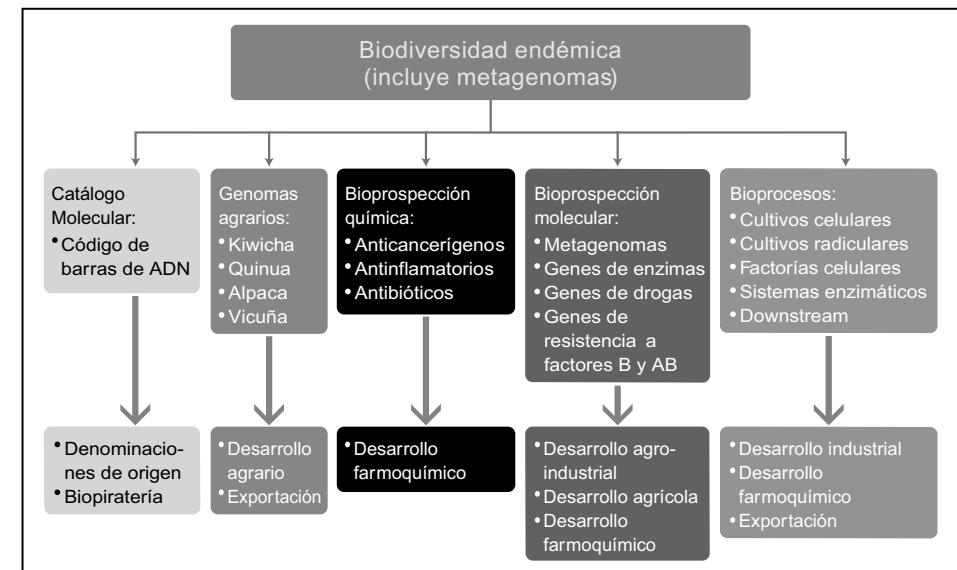


Figura 8. Visión esquemática del megaproyecto “Valorización biotecnológica de la biodiversidad”.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aggarwal, K. and K.H. Lee. 2003. Functional genomics and proteomics as a foundation for systems biology Briefings in Functional Genomics and Proteomics. 2(3):175–184.
- Atsumi, S., W. Higashide and J.C. Liao. 2009. Direct photosynthetic recycling of carbon dioxide to isobutyraldehyde. *Nature Biotechnology* 27: 1177-1182.
- Ausubel, J.H. 2009. A botanical microscope. *PNAS* 106: 12569–12570.
- Banerjee, N. and M.Q. Zhang. 2002. Functional genomics as applied to mapping transcription regulatory networks. *Current Opinion in Microbiology* 5:313–317.
- Bergquist, P.L., R.A. Reeves and M.D. Gibbs. 2005. Degenerate oligonucleotide gene shuffling (DOGS) and random drift mutagenesis (RNDM): Two complementary techniques for enzyme evolution. *Biomolecular Engineering* 22: 63-72.
- Bino, R.J., R.D. Hall, O. Fiehn, et al. 2004. Potential of metabolomics as a functional genomics tool. *Trends in Plant Science* 9 (9):418-425.
- Branton, D., D.W. Deamer, et al. 2008. The potential and challenges of nanopore sequencing. *Nature Biotechnology* 26: 1146-1153.
- Canter, P.H., H. Thomas and E. Ernst. 2005. Bringing medicinal plants into cultivation: opportunities and challenges for biotechnology. *Trends in Biotechnology* 23: 180-185.
- CBOL Plant Working Group. 2009. A DNA barcode for land plants. *PNAS* 106: 12794–12797.
- Chase, M.W. and M.F. Fay. 2009. Barcoding of Plants and Fungi. *Science* 325: 682-683.
- Chatterjee, R. and L. Yuan. 2006. Directed evolution of metabolic pathways. *Trends in Biotechnology* 24: 28 – 38.
- Das, A., S.-H. Yoon, et al. 2007. An update on microbial carotenoid production: application of recent metabolic engineering tools. *Applied Microbiology and Biotechnology* 77:505–512.
- DeStefeno-Beltrán, L. 2008. Genómica funcional de plantas medicinales. *Bios* 1(1): 24 – 27.
- Donnez, D., P. Jeandet, C. Clément and E. Courot. 2009. Bioproduction of resveratrol and stilbene derivatives by plant cells and microorganisms. *Trends in Biotechnology* 27: 706-713.
- Douwes, E., N.R. Crouch, T.J. Edwards and D.A. Mulholland. 2008. Regression analyses of southern African ethnomedicinal plants: informing the targeted selection of bioprospecting and pharmacological screening subjects. *Journal of Ethnopharmacology* 119: 356-364.
- Eijssink, V.G.H., S. Gaseidnes, T.V. Borchert and B. van den Burg. 2005. Directed evolution of enzyme stability. *Biomolecular Engineering* 22 :21–30.
- Ereky, K. 1919. *Biotechnologie: der Fleisch-, Fett- und Milcherzeugung im landwirtschaftlichen Grossbetriebe (Biotechnology of Meat, Fat and Milk Production in an Agricultural Large-Scale Farm)*. Verlag Paul Parey, Berlin, VII., 84.
- Feeley, K.J. and M.R. Silman. 2009. Extinction risks of Amazonian plant species. *PNAS* 106: 12382–12387.
- Ferrer, P. 2007. Systems biology and biological systems diversity for the engineering of microbial cell factories. *Microbial Cell Factories* 6:35, doi:10.1186/1475-2859-6-35.
- Foster, A.C. and G.M. Church. 2007. Synthetic biology projects in vitro. *Genome Research* 17: 1-6.
- Gutiérrez-Correa, M. 2005. Ciencias Biológicas, Bioquímica, Biología Molecular y Biotecnología en el Perú. En “La Investigación Científica y Tecnológica en el Perú” (J. Verástegui, ed.), Volumen I (ISBN 9972-53-046-9), pp.264-343, BCR-CONCYTEC, Lima.
- Gutiérrez-Correa, M. & R. Estrada. 2008. Línea base para la implementación del programa nacional en biotecnología agraria y agroindustrial en el Perú. En “Líneas de Base para la Implementación de Programas Estratégicos” (H. Fano & M. Torres, eds.), pp. 121-140, INCAGRO (ISBN: 978-603-45061-4-5), Lima.
- Gutiérrez-Correa, M. 2008a. Bioeconomía: la economía del Siglo XXI. *Bios* 1(1): 3 – 6.
- Gutiérrez-Correa, M. 2008b. Bioeconomía (Primera Parte). *Revista de Agronegocios* 2(3): 14 - 17.
- Gutiérrez-Correa, M. 2009a. Bioeconomía (Segunda Parte). *Revista Agronegocios* 3(1): 16 – 19.
- Gutiérrez-Correa, M. 2009b. El Valor de los Genes: Una Visión Preliminar. *Bios* 2(3): 4-7.
- Handelsman, J. 2004. Metagenomics: Application of genomics to uncultured microorganisms. *Microbiology and Molecular Biology Review* 68: 669–685.
- Hebert, P.D.N., A. Cywinska, S.L. Ball and J.R. deWaard. 2003. Biological identifications through DNA barcodes. *Proc R Soc Biol Sci SerB* 270:313–321.
- Hieter, P. and M. Boguski. 1997. Functional Genomics: It's All How You Read It. *Science* 278: 601-602.
- Jung, Y.K., T.Y. Kim, S.J. Park and S.Y. Lee. 2010. Metabolic Engineering of *Escherichia coli* for the Production of Polylactic Acid and Its Copolymers. *Biotechnology and Bioengineering* 105: 161-171.
- Kintzios, S., H. Kollias, E. Straitouris and O. Makri. 2004. Scale-up micropropagation of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) in an airlift bioreactor and accumulation of rosmarinic acid. *Biotechnology Letters* 26: 521–523.
- Klein-Marcuschamer, D., P.K. Ajikumar and G. Stephanopoulos. 2007. Engineering microbial cell factories for biosynthesis of isoprenoid molecules: beyond lycopene. *Trends in Biotechnology* 25: 417-424.
- Koffas, M.A.G. 2009. Expanding the repertoire of biofuel alternatives through metabolic pathway evolution. *PNAS* 106: 965–966.
- Kress, J.W., K.J. Wurdack, E.A. Zimmer, L.A. Weigt and D.H. Janzen. 2005. Use of DNA barcodes to identify flowering plants. *Proc Natl Acad Sci USA* 102: 8369–8374.
- Lessard, P.A., H. Kulaveerasingam, G.M. York, A. Strong and A.J. Sinskey. 2002. Manipulating Gene Expression

- for the Metabolic Engineering of Plants. *Metabolic Engineering* 4: 67 – 79.
- Lu, T.K., A.S. Khalil and J.J. Collins. 2009. Next-generation synthetic gene networks. *Nature Biotechnology* 27: 1139-1150.
- Mathur, E.J., G. Toledo, B.D. Green, M. Podar, T.H. Richardson, M. Kulwiec and H.W. Chang. 2005. A biodiversity-based approach to development of performance enzymes: Applied metagenomics and directed evolution. *Industrial Biotechnology* 1: 283-287.
- National Research Council. 1999. *Perspectives on biodiversity: valuing its role in an ever-changing world*. Washington, DC: National Academy Press. 129 p.
- O'Callaghan, P.M. and D.C. James. 2008. Systems biotechnology of mammalian cell factories. *Briefings in Functional Genomics and Proteomics* 7: 95-110.
- Oksman-Caldentey, K.-M. and D. Inze. 2004. Plant cell factories in the post-genomic era: new ways to produce designer secondary metabolites. *Trends in Plant Science* 9: 433-440.
- Oliver, D.J., B. Nikolao and E.S. Wurtele. 2002. Functional Genomics: High-throughput mRNA, protein and metabolites analysis. *Metabolic Engineering* 4:98-106.
- Petrounia, I.P. and F.H. Arnold. 2000. Designed evolution of enzymatic properties. *Current Opinion in Biotechnology* 11: 325–330.
- Pimm, S.L., G.J. Russell, J.L. Gittleman and T.M. Brooks. 1995. The future of biodiversity. *Science* 269: 347-350.
- Punt, P.J., N. van Biezen et al. 2002. Filamentous fungi as cell factories for heterologous protein production. *Trends in Biotechnology* 20: 200-206.
- Raab, E.M., K. Tyo and G. Stephanopoulos. 2005. *Metabolic Engineering. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* 100: 1 – 17.
- Rao, S.R. and G.A. Ravishankar. 2002. Plant cell cultures: Chemical factories of secondary metabolites. *Biotechnology Advances* 20: 101–153.
- Riesenfeld, C.S., P.D. Schloss, and J. Handelsman. 2004. *Metagenomics: Genomic Analysis of Microbial Communities*. *Annual Review of Genetics* 38: 525–52.
- Ro, D.-K., E.M. Paradise, et al. 2006. Production of the antimalarial drug precursor artemisinic acid in engineered yeast. *Nature* 440: 940 – 943.
- Schloss, P.D. and J. Handelsman. 2005. Metagenomics for studying unculturable microorganisms: cutting the Gordian knot. *Applied Microbiology and Biotechnology* 75: 955–962.
- Schmeisser, C., H. Steele and W.R. Streit. 2007. Metagenomics, biotechnology with non-culturable microbes. *Applied Microbiology and Biotechnology* 75: 955–962.
- Serrano, L. 2007. Synthetic biology: promises and challenges. *Molecular Systems Biology* 3: 158, doi: 10.1038/msb4100202.
- Shendure, J. and H. Ji. 2008. Next-generation DNA sequencing. *Nature Biotechnology* 26: 1135-1145.
- Singh, J., A. Behal, N. Singla, et al. 2009. Metagenomics: Concept, methodology, ecological inference and recent advances. *Biotechnology Journal* 4: 480–494.
- Steinbüche, A. and T. Lütke-Eversloh. 2003. Metabolic engineering and pathway construction for biotechnological production of relevant polyhydroxyalkanoates in microorganisms. *Biochemical Engineering Journal* 16: 81–96.
- Streit, W.R. and R.A. Schmitz. 2004. Metagenomics – the key to the uncultured microbes. *Current Opinion in Microbiology* 7: 492–498.
- Taguchi, S., M. Yamada, et al. 2008. A microbial factory for lactate-based polyesters using a lactate-polymerizing enzyme. *PNAS* 105: 17323–17327.
- Van Vleet, J.H. and T.W. Jeffries. 2009. Yeast metabolic engineering for hemicellulosic ethanol production. *Current Opinion in Biotechnology*, 20: 300–306.
- Vemuri, N. and A.A. Aristidou. 2005. Metabolic Engineering in the -omics Era: Elucidating and Modulating Regulatory Networks. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 69(2): 197–216.
- A. Villaverde. 2010. Nanotechnology, bionanotechnology and microbial cell factories. *Microbial Cell Factories* 9:53, doi: 10.1186/1475-2859-9-53.
- Villena, G.K. y M. Gutiérrez-Correa. 2008. *Genómica funcional de hongos industriales*. *Bios* 1(1): 28 – 31.
- Wittmann, C. 2007. Fluxome analysis using GC-MS. *Microbial Cell Factories* 6:6, doi: 10.1186/1475-2859-6-6.
- Yakandawala, N., T. Romeo, A.D. Friesen & S. Madhyastha. 2008. Metabolic engineering of *Escherichia coli* to enhance phenylalanine production. *Applied Microbiology and Biotechnology* 78:283–29.
- Yan, Y. and J.C. Liao. 2009. Engineering metabolic systems for production of advanced fuels. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 36:471–479.
- Yuan, L., I. Kurek, J. English and R. Keenan. 2005. Laboratory-Directed Protein Evolution. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 69(3): 373 – 392.
- Zeyaulah, M., M.R. Kamli, B. Islam, et al. 2009. Metagenomics - An advanced approach for noncultivable microorganisms. *Biotechnology and Molecular Biology Review* 4(3): 49-54.

Valorización biotecnológica de la biodiversidad: La alternativa de desarrollo

Gretty K. Villena, Ph.D., Universidad Nacional Agraria La Molina

RESUMEN

La participación de la biotecnología en la economía global ha devenido en el surgimiento del modelo económico de Bioeconomía, en el cual la inserción de los países en vías de desarrollo dependerá en gran medida de sus capacidades tecnológicas locales. En este contexto, el Perú debe decidir la adopción y aprovechamiento de los avances en biotecnología para el uso y valorización económica de su biodiversidad endémica como punto de inicio para su expansión y el eje de su desarrollo económico en el presente siglo. Este planteamiento ha generado la propuesta de megaproyecto nacional de Biotecnología: Biodiversidad, Biotecnología y Bioeconomía: Valorización biotecnológica de la biodiversidad, presentada en la sección anterior, y que ha sido desarrollado a solicitud del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, colocando a la biotecnología como un área prioritaria y fuente de innovación para desarrollo tecnológico del país.

El texto a continuación presenta el análisis y comentarios del megaproyecto planteado, destacando que la valorización biotecnológica de la biodiversidad endémica en el país representa la mayor alternativa de desarrollo, en el contexto económico y tecnológico del presente siglo.

1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DEL MEGAPROYECTO: VALORIZACIÓN BIOTECNOLÓGICA DE LA BIODIVERSIDAD

La inserción de la biotecnología en la economía global, promovida por los avances tecnológicos de la última década, ha generado un nuevo modelo económico para el siglo XXI, llamado Bioeconomía y definido como la confluencia de las biotecnologías modernas y los nichos de mercado que éstas ocupan (Juma & Konde, 2002). Entre los cambios inherentes a la bioeconomía, se destaca la inclusión de mercado para los países en vías de desarrollo, a diferencia de la realidad actual en la que la tecnología se concentra en unos pocos países. En adelante, los países en desarrollo están llamados a jugar un rol fundamental en un desarrollo económico emergente basado en la aplicación de la biotecnología en agricultura, medicina e industria. Sin embargo, sus posibilidades de inserción, favorecidas por el entorno mundial, dependerán en gran medida de sus capacidades tecnológicas locales (Pownall, 2000; Bustamante & Borra, 2002; Da Silva et al., 2002).

En este contexto, resulta urgente la adopción y aprovechamiento de los avances en los diversos campos de la biotecnología, incluyendo la genómica, ingeniería genética, ingeniería biológica y celular. Entre las oportunidades para los países en vías de desarrollo, que

posibilitarán su transición de exportadores de materia prima a exportadores de productos terminados, están los sectores de producción agrícola, biocombustibles, las industrias textil, de cuero, y papel, y el desarrollo de procesos de conversión de residuos en productos de valor económico bajo un esquema de agro y biorefinerías (Gutiérrez-Correa, 2008, 2009; Juma & Konde, 2002).

Particularmente para el país, la biodiversidad endémica puede constituir en punto de inicio para su expansión y el eje de su desarrollo económico en el presente siglo. En este sentido, la hipótesis y objetivo general del megaproyecto planteado resultan pertinentes y necesarios, en una visión de mediano y largo plazo; y bajo un contexto de promoción y apoyo al desarrollo de ciencia y tecnología en el país. La transversalidad de los objetivos específicos incluye los diferentes grupos taxonómicos y crea la necesidad de organizar grupos de investigación colaborativos intra e interinstitucionales de carácter multidisciplinario. Asimismo, la realización de un megaproyecto de tal envergadura requiere la atención y solución a externalidades de carácter económico, político y legal que se han detallado acertadamente en el texto del megaproyecto.

Las actividades planteadas en el megaproyecto abren la discusión y demandan un análisis sobre la potencialidad del desarrollo biotecnológico en el país y la condición de partida en cada uno de los temas propuestos.

Actividad 1: Generación de un catálogo molecular

La generación de códigos de barras de ADN es una nueva estrategia diseñada la

identificación rápida, precisa y automática de especies mediante el uso de regiones cortas estandarizadas de ADN, en un intento por mejorar la accesibilidad de la información taxonómica lineana hacia los sectores demandantes, permitiendo el acceso universal a nombres y características biológicas (Hebert & Gregory, 2005). El avance más significativo se ha dado en animales, permitiendo un nivel de especificidad mayor al 97% para grupos de aves, mamíferos, peces y varios artrópodos. Mejoras en la técnica como el uso de secuencias reducidas (mini code bars) o arreglos han permitido sobrellevar las limitaciones de la técnica en el análisis de grupos monofiléticos (Hajibabaei et al., 2007; Meusnier et al., 2007).

Aunque, el desarrollo de capacidades en esta tecnología puede contribuir a una rápida tipificación con mayor cobertura de la biodiversidad, no debe entenderse como un abandono a la taxonomía clásica de especies. Todo lo contrario, promueve la interacción entre la taxonomía morfológica y la taxonomía molecular para preservar los principios lineanos por los cuales las especies son identificadas y clasificadas. En muchos grupos taxonómicos, particularmente eucariotas superiores (plantas y animales), el uso de código de barras de ADN requiere de especies identificadas morfológicamente para la calibración y asignación de nombres a nuevas especies (Hebert & Gregory, 2005).

En el Perú, no existen a la fecha grupos de investigación en identificación de especies mediante códigos de barras, aunque algunos grupos taxonómicos pertenecientes de la biodiversidad endémica vienen siendo estudiados por instituciones extranjeras.

A nivel mundial, se ha generado una iniciativa entre investigadores y organizaciones conservacionistas para iniciar el proyecto International Barcode of Life Project (iBOL; <http://www.ibolproject.org>) en el mes de Octubre del año Internacional de la Biodiversidad (Vernooy et al., 2010), en el cual, el Perú sólo registra participación a través de la Sociedad de Derecho Ambiental. El proyecto se enfoca en especies eucariotas amenazadas y de importancia socioeconómica o ambiental (insectos, termitas, peces, árboles forestales, mamíferos y reptiles) con una cobertura esperada de 5000 especies para el 2015. En estas circunstancias, resulta imperativo el concurso de instituciones académicas y grupos de investigadores nacionales para la toma de decisiones en las estrategias a seguir, como participantes del proyecto.

Esta actividad es metodológica y económicamente factible, por lo cual, se esperarían avances en el corto y mediano plazo.

Actividad 2: Genomas de especies agrarias

La obtención de la secuencia de genomas de diferentes especies es una estrategia accesible y en los últimos años, el desarrollo de técnicas de secuenciamiento automatizadas no dependientes de clonamiento, conocidas como Next generation DNA sequencing permiten el secuenciamiento de hasta un billón de bases por día a costos bajos en comparación a las tecnologías convencionales de secuenciamiento mediante el método de Sanger (Anson, 2009; Shendure & Hanlee 2008). De esta manera, los proyectos de secuenciamiento de genomas pueden ser completados en semanas. Aunque esta

estrategia puede generar información a velocidad muy rápida se requiere un fuerte soporte bioinformático que permita la anotación de secuencias en las bases de datos (Pop & Salzberg, 2008). Entre las aplicaciones derivadas de esta tecnología se cuentan: el re-secuenciamiento de genomas, la identificación de polimorfismos y mutaciones, la detección de rearrreglos (variación en número de copias, translocaciones, inversiones cromosómicas), metilación de ADN, entre otras.

Aunque se plantea el secuenciamiento y anotación de los genomas de kiwicha, quinua, alpaca y vicuña en primera instancia, esta lista podría extenderse a otras especies vegetales y animales. Actualmente, se viene ejecutando el secuenciamiento de genoma de alpaca (Johnson et al., 2009) y se han identificado algunas secuencias polimórficas de utilidad (Reed & Chaves, 2008), además de la información generada por investigadores nacionales (Fujita, 2008).

Sin embargo, la utilidad fundamental de la información generada, debe confluir en la identificación y asignación de funciones de los genes, para lo cual, es necesaria la aplicación de herramientas de genómica funcional (Destefano-Beltrán, 2008; Fujita, 2008; Stoeckert, 2005; Stotz et al., 2006; Villena & Gutiérrez-Correa, 2008).

Finalmente, se espera para el país, que estas tecnologías cimenten la plataforma para la aplicación de biotecnología moderna (Grobman, 2008; Gutiérrez-Correa, 2008) para el mejoramiento de especies vegetales y animales estratégicas (Gutiérrez-Correa, 2009). Las tecnologías de mejoramiento empleadas a la fecha están limitadas a ciertas instituciones (Da

Silva et al. 2002; Roca et al. 2004; Trigo et al., 2000) y evidencian un contraste preocupante en el avance y aplicación de biotecnología moderna de otros países de la región andina, colocando al país en una posición desfavorable. Entre las especies vegetales que requieren atención están la arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*), achira (*Canna edulis*), yacon (*Polymnia sonchifolia*), mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*), ulluco (*Ullucus tuberosus*), quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranto o kiwicha (*Amaranthus caudatus*), pallar (*Phaseolus vulgaris*), tarwi (*Lupinus mutabilis*), “capulí” (*Physalis peruviana*), chirimoya (*Annona cherimola*) (Izquierdo & de la Riva, 2000) entre otras. Además, entre especies animales, las especies de peces de ecosistemas tropicales constituyen un grupo interesante para el mejoramiento genético.

Los resultados esperados a partir de esta actividad, por el volumen de información científica requerida y la incertidumbre respecto al marco legal y regulatorio, desafortunadamente deben considerarse a largo plazo.

Actividad 3: Bioprospección química

Aunque la bioprospección química o búsqueda, caracterización y aislamiento de productos naturales con actividades biológicas de interés es una estrategia empleada desde décadas atrás, el avance en las técnicas moleculares y analíticas, así como el desarrollo de la biología sintética, han asegurado su vigencia en el tiempo (Meinwald & Eisner, 2008). Históricamente las nuevas drogas han sido generadas a partir de productos naturales (metabolitos secundarios) y derivados. Las fuentes tradicionales de

productos naturales incluyen bacterias de suelo (actinomicetos), hongos y plantas. Aunque las plantas continúan siendo la mayor fuente de nuevas drogas con aproximadamente 91 compuestos en pruebas clínicas hasta el año 2007; en los últimos años, las cianobacterias y organismos marinos están siendo intensamente estudiados como fuentes de nuevas drogas con actividad neurotóxica y citotóxica para tratamiento de cáncer (Li & Vederas.,2009).

En el país, existe un potencial reconocido de plantas medicinales (Bussmann & Sharon, 2006) con estudios publicados de propiedades y compuestos activos de especies como maca, uña de gato, mashua, papa, olluco, entre otras, (Valerio & Gonzales, 2005; Rubio et al., 2007; Campos et al., 2006). Esto constituye una línea de base para el avance en el aislamiento de compuestos bioactivos con plantas en el país.

Sin embargo, debido a la influencia de factores ambientales y estacionalidad en la concentración y tipo de metabolitos producidos por las plantas como respuesta a condiciones de crecimiento, sumado a la realidad de que muchas de las plantas medicinales menos caracterizadas no son cultivados, por cual, su utilización conlleva a la extracción y depredación de cultivos silvestres; es necesaria la búsqueda de nuevas fuentes de productos bioactivos, con lo cual, la biodiversidad microbiana y particularmente los metagenomas pueden representar una fuente interesante para la bioprospección química.

Aunque la biodiversidad endémica en el país puede ser considerada como una ventaja competitiva para la búsqueda de nuevos compuestos, el desarrollo

acelerado de técnicas de biología sintética e ingeniería metabólica, pueden reducir significativamente esta condición, eliminando la dependencia de fuentes naturales de compuestos. Esto genera la urgencia en el desarrollo y consolidación de técnicas de bioprospección molecular y química como actividades prioritarias del país en el corto y mediano plazo.

Actividad 4: Bioprospección molecular

Ante la demanda continua y creciente de nuevas enzimas y productos por parte del sector biotecnológico, la bioprospección molecular se ha constituido en una herramienta importante en la búsqueda de genes específicos para diversas aplicaciones y en este sentido la inclusión de esta estrategia como parte del megaproyecto es adecuada.

Aunque la diversidad microbiana es quizás la fuente más importante de genes, debe tenerse en cuenta que entre el 90 y 99.9% de los microorganismos no son cultivables. La mayoría de grupos nacionales de investigación utiliza procedimientos tradicionales de aislamiento mediante cultivo in vitro, lo cual, disminuye significativamente la posibilidad de aislamiento de genes novedosos. Ante ello, la aplicación de nuevas estrategias para el descubrimiento y utilización de la diversidad no cultivable, como la metagenómica (Schmeisser, 2007; Wagner et al., 2004) debería constituirse en una prioridad en la investigación. La metagenómica implica el aislamiento directo de ácidos nucleicos del ambiente y para ello utiliza técnicas moleculares. Así, el ADN ambiental recuperado puede ser analizado por hibridación directa, mediante clonamiento, o por amplificación específica de secuencias mediante PCR.

A escala global, la mayor información disponible a la fecha está referida a estudios de diversidad microbiana mientras que la información disponible sobre bioprospección es muy limitada, sobre todo, porque la información generada tiene mayor potencial de dar lugar a patentes al demostrarse la utilidad económica de los genes identificados.

Debido a experiencia generada en técnicas moleculares por parte de algunos grupos de investigación, la aplicación y resultados de esta actividad podrían esperarse en el corto plazo, en lo referente a la identificación de genes de utilidad. Ecosistemas como fuentes termales y regiones tropicales constituyen fuentes de endemismo microbiano y por tanto de biodiversidad aprovechable.

Actividad 5: Desarrollo de bioprocesos

El desarrollo de procesos de base biológica, dentro de un esquema de biorefinería, es sin duda, una necesidad prioritaria para el país aunque requiere la participación conjunta del sector académico e industrial en un compromiso a mediano y largo plazo.

Los sectores textil y de biocombustibles podrían constituirse como sectores piloto para el desarrollo y aplicación de evolución dirigida de sistemas enzimáticos y tecnologías de diseño y construcción de factorías celulares. Particularmente, el sector de biocombustibles, está utilizando estrategias poco viables a largo plazo como la producción de biodiesel mediante hidrólisis química, por lo cual resulta imperativo el rediseño de estos procesos con la utilización de sistemas enzimáticos mejorados mediante evolución dirigida, mientras que la estrategia futura para la producción de bioetanol será la utilización

de biomasa lignocelulósica, con lo cual, se hace necesario el desarrollo de factorías celulares con capacidades metabólicas integradas (Zhang et al., 2008; Zhang et al., 2009).

Gran parte de la información y tecnologías derivadas de la bioprospección molecular permitirá el desarrollo y avance de esta actividad. De otro lado el diseño y optimización de cultivos celulares y radicales y diseño de biorreactores especializados, en lo cual, ya existen experiencias nacionales, permitirán el desarrollo de un sector farmoquímico nacional, que debería reemplazar la tendencia de extracción y venta de materia prima convencional como fuente de sustancias activas.

2. INTER Y MULTIDISCIPLINARIEDAD E INSTITUCIONES INVOLUCRADAS

Indiscutiblemente la puesta en marcha y ejecución del megaproyecto promueve la participación de disciplinas que incluyen las ciencias biológicas (sin exclusión de ningún área de especialización: taxonomía, genética, fisiología, ecología, biología molecular, bioquímica, genómica, etc.), ingeniería biológica, medicina, ingeniería de sistemas y bioinformática, matemáticas, ciencias agronómicas y agropecuarias y otras disciplinas complementarias.

Esto implica la organización de grupos colaborativos de investigación, organizados en consorcios, con participación de universidades, Institutos de Investigación Públicos y Privados. Existe una gran expectativa en la construcción e implementación del Centro Nacional de Biotecnología Agropecuaria y Forestal (CNBAF), que deberá contribuir significativamente en

la puesta en marcha del megaproyecto. Existe una capacidad instalada básica para el desarrollo de la biotecnología en el país (Gutiérrez Correa & Estrada, 2008), la misma que debe ser mejorada y potenciada con la participación activa del estado y sector productivo del país, permitiendo un mejor acceso a fondos concursables para el financiamiento de las actividades planteadas en el megaproyecto.

3. CONCLUSIONES

Frente al nuevo contexto económico de Bioeconomía, en el cual, la biotecnología tiene una participación fundamental, el Perú debe acelerar la adopción y aprovechamiento de los avances en biotecnología para el uso y valorización económica de su biodiversidad endémica para promover su desarrollo económico en el presente siglo.

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología viene promoviendo la Identificación de megaproyectos de investigación, y a través del megaproyecto de Biotecnología: Biodiversidad, Biotecnología y Bioeconomía: Valorización biotecnológica de la biodiversidad, coloca a la biotecnología como un área prioritaria y fuente de innovación para desarrollo tecnológico del país.

El análisis y discusión de los objetivos y actividades propuestas en el megaproyecto destacan la transversalidad del mismo y la convergencia de herramientas biotecnológicas de última generación para el estudio y aprovechamiento de diferentes grupos taxonómicos con resultados a mediano y largo plazo. Asimismo, promoverá la participación de las ciencias biológicas e ingeniería,

bioinformática, medicina, ciencias agronómicas y agropecuarias y otras disciplinas complementarias y la organización de grupos colaborativos de investigación, organizados en consorcios, con participación de universidades, institutos de investigación públicos y privados y sector productivo del país.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aggarwal, K. and K.H. Lee. 2003. Functional genomics and proteomics as a foundation for systems biology Briefings in Functional Genomics and Proteomics. 2(3):175–184.

Ansorge, W.J. 2009 Next-generation DNA sequencing techniques New Biotechnology 25 (4): 195-203.

Bustamante, P.I. and S. Bowra. 2002. Biotechnology in developing countries: harnessing the potential of high-TECH SMES in the face of global competition. EJB Electronic Journal of Biotechnology 3(2): 196-202.

Bussmann R W and D. Sharon. 2006. Traditional medicinal plant use in Northern Peru: tracking two thousand years of healing culture Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine 2:47, doi:10.1186/1746-4269-2-47.

Campos, D.; G. Noratto, R. Chirinos, C. Arbizu, W. Roca, and L. Cisneros-Zevallos. 2006. Antioxidant capacity and secondary metabolites in four species of Andean tuber crops: native potato (*Solanum sp.*), mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and ulluco (*Ullucus tuberosus* Caldas). Journal of the Science of Food and Agriculture 86(10): 1481–1488.

Da Silva, E.J., E. Baydoun and A. Badran. 2002. Biotechnology and the developing world. EJB Electronic Journal of Biotechnology 5(1): 65-92.

Destefeno-Beltrán, L. 2008. Genómica funcional de plantas medicinales. Bios 1(1): 24 – 27.

Fujita, R. 2008. Necesidad de la Genómica en el Mejoramiento de Camélidos en el Perú (un ensayo). Bios 1(1): 20-23.

Grobman, A. 2008. El Futuro de la Biotecnología Moderna en el Perú Bios 1(1): 7-9.

Gutiérrez-Correa, M. 2008. Bioeconomía: la economía del Siglo XXI. Bios 1(1): 3 – 6.

Gutiérrez-Correa, M. 2009. Bioeconomía (Segunda Parte). Revista Agronegocios 3(1): 16 – 19.

Hajibabaei, M., G.A.C. Singer, E.L. Clare and P.D.N. Hebert. 2007. Design and applicability of DNA arrays and DNA barcodes in biodiversity monitoring BMC Biology 2007, 5:24 doi: 10.1186/1741-7007-5-24.

Hebert, P.D.N. and T.R. Gregory. 2005. The Promise of DNA Barcoding for Taxonomy. Systematic Biology. 54(5):852–859.

Izquierdo, J. and G.A. de la Riva. 2000. Plant biotechnology and food security in Latin America and the Caribbean. EJB Electronic Journal of Biotechnology 3(1): 1-8.

Johnson, W.E., P. Perelman and S.J. O'Brien. 2009. Camelid genomics: Anticipating the future (Editorial). Journal

- of Camelid Science 2 (2009) <http://www.isocard.org>
- Juma, C. and V. Konde. 2002. The New Bioeconomy: Industrial and Environmental Biotechnology in Developing Countries. United Nations Conference on Trade and Development. UNCTAD/DITC/TED/12. United Nations.
- Li, J.W.H. and J.C. Vederas. 2009. Drug Discovery and Natural Products: End of an Era or an Endless Frontier? *Science* 325: 161-165.
- Meinwald, J. and T. Eisner. 2008. Chemical ecology in retrospect and prospect. *PNAS* 105 (12):4539–4540.
- Meusnier, I., G.A.C. Singer, J.F. Landry, D.A. Hickey, P.D.N. Hebert and M. Hajibabaei. 2008. A universal DNA mini-barcode for biodiversity analysis. *BMC Genomics* 2008, 9: 214.
- Pop, M. and S.L. Salzberg. 2008. Bioinformatics challenges of new sequencing technology. *Trends in Genetics* 24 (3): 142-149.
- Pownall, I.E. 2000. An international political economic view of the biotechnology industry. *EJB Electronic Journal of Biotechnology* Vol.3 (2): 1-20.
- Reed K.M. and L.D. Chaves. 2008. Simple Sequence Repeats for Genetic Studies of Alpaca. *Animal Biotechnology* 19(4): 243 – 309.
- Roca, W., C. Espinoza, and A. Panta. 2004. Agricultural Applications of Biotechnology and the Potential for Biodiversity Valorization in Latin America and the Caribbean *AgBioForum*, 7(1&2): 13-22.
- Rubio, J., H. Dang, M. Gong, X. Liu, S. Chen and G.F. Gonzales. 2007. Aqueous and hydroalcoholic extracts of Black Maca (*Lepidium meyenii*) improve scopolamine-induced memory impairment in mice. *Food and Chemical Toxicology* 45(10):1882-1890.
- Schmeisser, C., H. Steele and W.R. Streit. 2007. Metagenomics, biotechnology with non-culturable microbes. *Applied Microbiology and Biotechnology* 75: 955–962.
- Shendure, J. and J. Hanlee. 2008. Next-generation DNA sequencing *Nature Biotechnology* 26(10): 1135-1145.
- Stoeckert, C.J. Jr .2005. Functional genomics databases on the web. *Cellular Microbiology* 7: 1053-1059.
- Stotz, K.C., A. Bostanci and P.E. Griffiths. 2006. Tracking the Shift to ‘Postgenomics’. *Community Genetics* 2006: 190–196.
- Trigo, E.J., G. Traxler, E.C. Pray and R.G. Echeverría. 2000. Agricultural Biotechnology and Rural Development in Latin America and the Caribbean. Inter-American Development Bank Washington, D. C. Sustainable Development Department Technical Papers Series.
- Vernooy, R., E. Haribabu, M. Ruiz Muller, J.H. Vogel, P.D.N. Hebert, D. Schindel, J. Shimura and G.A.C. Singer. 2010. Barcoding Life to Conserve Biological Diversity: Beyond the Taxonomic Imperative. *PLoS Biology* 8 (7): 1-5.
- Valerio, L.G. and G.F. Gonzales. 2005. Toxicological Aspects of the South American Herbs Cat’s Claw (*Uncaria tomentosa*) and Maca (*Lepidium meyenii*): A Critical Synopsis. *Toxicological Reviews*, 24(1): 11-35.
- Villena, G.K. and M. Gutiérrez-Correa. 2008. Genómica funcional de hongos industriales. *Bios* 1(1): 28 – 31.
- Wagner, M. 2004. Deciphering Functions of uncultured Microorganisms. *ASM News* 70: 63 -70.
- Zhang, K., M.R. Sawaya, D.S. Eisenberg, and J.C. Liao. 2008. Expanding metabolism for biosynthesis of nonnatural alcohols. *PNAS* 105: 20653–20658.
- Zhang, Y., Y. Zhu, Y. Zhu and Y. Li. 2009. The importance of engineering physiological functionality into microbes. *Trends in Biotechnology* 27: 664-672.

La Genómica Funcional de Plantas en un Megaproyecto de Biodiversidad

Luis DeStefano-Beltrán, Ph.D., Universidad Peruana Cayetano Heredia

1. ANTECEDENTES

El aspecto más importante del Megaproyecto de Biotecnología es el estudio de nuestra Biodiversidad Endémica, es decir aquella restringida a nuestras fronteras, especialmente la biodiversidad de nuestras plantas endémicas. La propuesta asume un valor económico incalculable -85 billones de dólares- almacenado en los genomas de nuestras 5,530 especies de plantas que el Megaproyecto debe capturar y aprovechar.

Un componente importante de la propuesta para acometer el problema de la captura de valor es la Genómica Funcional que busca la asignación de función a cada uno de los genes del genoma en una especie y es en lo que me voy a concentrar en los siguientes párrafos.

De las 400,000 especies de plantas superiores descritas en el mundo sólo el 10% han sido caracterizadas químicamente. En general éstas han significado una fuente valiosa de nuevos compuestos para la industria farmacéutica en los últimos 200 años. Entre las primeras sustancias caracterizadas y aisladas de plantas tenemos a la morfina de *Papaver somniferum* (1803), la estricnina de *Strychnos nux-vomica* (1818), la quinina de *Cinchona succirubra* (1821) y la codeína de *Papaver somniferum* (1837). Se calcula que una cuarta parte de todas los

medicamentos formulados en los países desarrollados contienen compuestos que se derivan directa, o indirectamente via semi-síntesis, de plantas con un valor, sólo en USA, de aprox. 32 mil millones de dólares (Oksman-Caldentey and Inzé, 2004). Esto último da fuerza a la idea de que es necesario estudiar y caracterizar de una manera multidisciplinaria a nuestra amplia biodiversidad vegetal, sobre todo, la endémica.

Por otro lado, se estima que unas 50,000 plantas han sido usadas con fines medicinales lo que representa el mayor uso del mundo natural en cuanto al número de especies (www.plantlife.org.uk). La Organización Mundial de la Salud estima que más del 80% de la población en los países en desarrollo depende de plantas medicinales para sus necesidades más básicas en el cuidado de su salud. Sorprendentemente, y debido a cambios culturales recientes, su uso en el mundo desarrollado es cada vez mayor. Así, por ejemplo, se afirma que en el Reino Unido hasta un 25% de la población las consume de manera regular. Del mismo modo, se estima que dos tercios de todas las plantas medicinales descritas son colectadas directamente de sus hábitat y que en Europa sólo el 10% de las plantas medicinales usadas comercialmente son cultivadas. Existe una preocupación cada vez mayor que la sobreexplotación de muchas de estas plantas a la par con la incapacidad o

falta de voluntad de cultivarlas de manera convencional traigan como consecuencia el deterioro de sus poblaciones nativas, la pérdida de su diversidad genética, el desarrollo de extinciones localizadas y la degradación de su hábitat. Se ha propuesto que entre 4,000 y 10,000 especies de plantas medicinales puedan encontrarse en peligro de extinción (Edwards, 2004). En el Perú se han referido alrededor de unas 1,400 plantas con uso medicinal tradicional; sin embargo, solo un grupo muy reducido, unas 20, han sido validadas por estudios científicos, lo que demuestra que en el caso de las plantas medicinales tenemos mucho que hacer (G. Gonzales, comunicación personal).

Por todo lo anterior, existe un interés cada vez mayor en el estudio de plantas medicinales. Por un lado, se propone que incentivar la domesticación de las plantas medicinales puede ser una solución a los problemas arriba mencionados (Canter et al. 2005) y, por otro, se plantea que una alternativa pueda ser la producción de sus compuestos activos mediante el uso de cultivos de células en suspensión (Oksman-Caldentey and Inzé, 2004). Aunque no excluyentes, ambas propuestas tienen sus propias dificultades y demandan el desarrollo de mucha investigación básica. Así, por ejemplo, la domesticación requiere del desarrollo previo de nuevas variedades que permitan optimizar el rendimiento y obtener de manera consistente un producto de alta calidad con fenotipo predecible (especialmente el relacionado a la concentración óptima de los principios activos) sin mencionar los problemas inherentes al cultivo mismo como la aparición de plagas, necesidades climáticas específicas, etc. Por otro lado, el uso de cultivos de células en suspensión supone, para comenzar, la identificación

de los principios activos -metabolitos secundarios- y un conocimiento más o menos detallado de la biología molecular asociada a su biosíntesis y metabolismo. Además, su uso comercial requiere el conocimiento de otras vías o rutas biosintéticas competidoras que puedan afectar el rendimiento de los productos finales y por ende su rentabilidad comercial.

2. GENÓMICA FUNCIONAL DE PLANTAS

A finales de los 80's, se empezó a usar el vocablo Genómica para describir los procesos de mapeo y secuenciamiento de genomas, así como también al análisis de la información contenida en las secuencias genómicas. Casi una década más tarde aparece el término Genómica Funcional cuando se comienza a considerar que las secuencias completas de los genomas podrían servir de base para un análisis funcional sistemático de los genes. Todo esto llevó a Philip Hieter y Mark Boguski en 1997, a plantear la división de la Genómica en dos disciplinas, la Genómica Estructural y la Genómica Funcional (Hieter and Boguski, 1997). Según esta propuesta, la Genómica Estructural correspondería a la primera fase del análisis del genoma que terminara, en última instancia, con la secuencia completa del ADN de un organismo. Por otro lado, la Genómica Funcional usaría esa secuencia para evaluar, a gran escala, la función de todos los genes de ese organismo. El nacimiento oficial de la Genómica Funcional data de 1996, cuando termina el secuenciamiento del genoma de la levadura de la cerveza *Saccharomyces cerevisiae*. Poco después los principales componentes de la

Genómica Funcional ya habían sido definidos: el análisis global del genoma de (1) mutantes, (2) datos de expresión a nivel de ARNm (Transcriptómica), (3) proteínas y sus interacciones (Proteómica), y (4) metabolitos (Metabolómica).

En los últimos quince años son varios los genomas de plantas que han sido secuenciados y anotados (parcialmente): *Arabidopsis thaliana*, *Oryza sativa* (arroz), *Populus trichocarpa* (poplar), *Zea mays* (maíz), y *Vitis vinifera* cv. Pinot noir (uva para vino), sin mencionar las decenas de proyectos actualmente en curso (alfalfa, cebada, papa, tomate, etc.). Ante esta avalancha de información estructural, la genómica funcional se ha convertido en el instrumento favorito de innumerables proyectos de investigación que buscan descifrar las funciones de cada uno de los nuevos genes recientemente secuenciados.

Pero la tarea no es simple. Por ejemplo, en la planta modelo, *Arabidopsis thaliana*, más de un tercio de sus aprox. 28,000 genes no pueden ser anotados o definidos por su homología con genes de otros organismos, y sólo un 10% han sido estudiados experimentalmente. Más aún, para descubrir las interacciones entre los genes y sus productos (ARNm's, proteínas y metabolitos) e indagar por sus roles biológicos bajo diferentes situaciones ambientales, las estrategias clásicas de estudiar un gen a la vez no parecen ser las más apropiadas.

Las diferentes estrategias de la Genómica Funcional se han convertido en herramientas moleculares poderosas que han servido para acelerar las investigaciones pormenorizadas del metabolismo celular en tejidos

especializados o en organismos enteros. El metabolismo secundario -especialmente relevante para las plantas medicinales- ha sido estudiado, por ejemplo, en *Arabidopsis* usando el mapeo comparativo de QTL's (*quantitative trait loci*) de resistencia a un herbívoro generalista (*Trichoplusia ni*) y un especialista (*Plutella xylostella*) con QTL's que controlan variaciones en el sistema glucosinolato-myrosinasa (Kliebenstein et al. 2002); en el opium poppy (*Papaver somniferum*) a través del desarrollo de una estrategia proteómica basada en electroforesis bidimensional del látex y la construcción de la primera base de datos de proteínas solubles presentes en el látex (Decker et al., 2000); y en otros sistemas por el uso de herramientas para el análisis del transcriptoma tales como el "differential-display", la construcción de bases de datos para Expressed Sequence Tags (EST) (Chen et al. 2005; Park et al., 2004; Suzuki et al., 2002) y los microarreglos (Achnine et al., 2005; Aharoni et al., 2000; Guterman et al. 2002). No obstante lo avanzado, poco se sabe sobre la genética que controla la variación cuantitativa y cualitativa en el metabolismo secundario.

Con todo, recientemente a través del análisis detallado de la expresión génica (transcriptómica) y la acumulación de metabolitos (metabolómica) es posible ahora determinar la correlación gen-metabolito (Gachon et al., 2005; Goossens et al., 2003; Hirai et al., 2005; 2007; Mercke et al., 2004; Rischer et al., 2006). Esto tiene trascendental importancia pues un conocimiento detallado de los sistemas de regulación que controlan la biosíntesis de los metabolitos blancos (target) hará posible, eventualmente, la ingeniería metabólica de su biosíntesis en plantas o en cultivos de células en suspensión.

En los siguientes párrafos describimos un ejemplo de lo que este megaproyecto en biotecnología podría hacer con nuestra biodiversidad vegetal endémica. Para ello presentamos algunos resultados parciales realizados en mi laboratorio con el financiamiento de la Cátedra de Biotecnología y de dos proyectos PROCOM del CONCYTEC y del International Center for Genetic Engineering and Biotechnology de Trieste (Italia).

3. LA MACA (*LEPIDIUM MEYENII*, WALP): PLANTA EMBLEMÁTICA DE LOS ANDES CENTRALES

Lepidium meyenii (maca) es una planta perenne cultivada exclusivamente entre los 3,500 y 4,300 metros sobre el nivel del mar en los Andes centrales del Perú y constituye la única especie de la familia Brassicácea oriunda de los Andes. La maca es una roseta de hojas plegadas y posee un órgano carnoso subterráneo formado por la raíz central y la parte inferior del hipocótilo. Este órgano, que es la parte que se consume, se agranda durante el periodo de crecimiento convirtiéndose en un órgano de almacenamiento equivalente a un tubérculo de forma similar a la de un nabo.

Tradicionalmente, los peruanos han considerado a la maca no sólo como un alimento de mucho valor por sus propiedades nutritivas y energizantes sino también como una planta medicinal por sus propiedades afrodisíacas y/o estimulantes de la fertilidad. En el siglo 17, Bernabé Cobo en su crónica “Historia del Nuevo Mundo” escribió que *en Chinchaycocha (Junín) en la región de los Andes centrales*, a alturas en las que actualmente no se siembra ningún otro

cultivo, *crece una planta llamada maca la cual mejora la fertilidad en los hombres*. En 1989, el National Research Council de los Estados Unidos señaló a la maca como uno de “los cultivos perdidos de los Incas”. Desde los 1990’s se ha visto un “boom de la maca” debido a un repentino interés farmacéutico/nutraceutico en la planta y a un incremento sostenido en su demanda desde Japón, Europa y los Estados Unidos. Todo esto ha posicionado a la maca como la planta medicinal más emblemática del Perú.

En Junín (Carhuamayo), se han descrito hasta 13 diferentes cultivares -o ecotipos- de maca de acuerdo al color de sus hipocótilos, el que varía pródigamente en diferentes gamas de color desde el blanco hasta el negro. El ecotipo más común y abundante es el amarillo seguido muy de cerca por los ecotipos rojo y negro. En los últimos cinco años, el Dr. Gustavo Gonzáles y su equipo de investigación en la Universidad Peruana Cayetano Heredia, UPCH han validado sistemáticamente, en una veintena de publicaciones, las propiedades sobre la fertilidad, antioxidantes y otras presentes en los extractos de estos tres ecotipos de maca.

La primera evidencia que la maca posee un efecto real sobre la espermatogénesis fue presentada con base a experimentos con ratas macho (Gonzáles et al., 2001a). Seguidamente, Gonzáles y sus colaboradores (2001b) demostraron que la maca aumenta el conteo y la motilidad de la esperma en hombres sanos sin modificar sus niveles en suero de las hormonas luteinizante (LH), testosterona y foliculo estimulante (FSH). Posteriormente, este mismo equipo logró demostrar que la maca amarilla

regeneraba la espermatogénesis en modelos experimentales en los cuales la espermatogénesis había sido disminuida experimentalmente (Gonzáles et al., 2004; Bustos-Obregón et al., 2005; Rubio et al., 2006) y de aumentar el tamaño de la camada en ratones hembras adultas (Ruiz-Luna et al., 2005).

Recientemente, se ha establecido que la maca tiene diferentes propiedades biológicas de acuerdo a su ecotipo. De los tres ecotipos estudiados (Gonzáles et al., 2006) la maca negra mostró el mejor efecto reproductivo, la maca amarilla presentó un efecto intermedio y la maca roja no tuvo ningún efecto. Sin embargo, en otro estudio sólo la maca roja redujo el tamaño de la próstata y evitó su aumento en ratas tratadas con Enanthato de Testosterona (Gonzáles et al., 2005).

4. GENÓMICA FUNCIONAL DE LA MACA

A pesar de todos los estudios arriba descritos para maca, y de otros más que escapan al análisis de la presente propuesta, se sabe muy poco o nada acerca de los metabolitos secundarios o principios activos responsables de estos efectos biológicos y mucho menos de sus rutas biosintéticas. Al incorporarme a la Unidad de Genómica de la UPCH en 2006 decidí escoger a la maca como especie modelo y utilizar herramientas de la Genómica Funcional para tratar de responder algunas de estas incógnitas. Desde entonces, mi laboratorio se ha dedicado al desarrollo de una colección de EST’s como un requisito previo al uso de estrategias más sofisticadas, como los microarreglos, en colaboración con la Dra. Magdalena Pavlich del Laboratorio

de Cultivos Vegetales de la UPCH, el Dr. Guy Carvajal de la Universidad Nacional de Ingeniería, y el M.Sc. Jorge Benavides del Instituto Nacional de Investigación Agraria con el financiamiento de dos proyectos PROCOM.

Específicamente, hemos construido varias genotecas substractivas de ADN complementario (ADNc) de hipocótilo usando el ARN mensajero (ARNm) de maca amarilla como ADNc tester y el ARNm del resto de la planta como ADNc driver. De estas genotecas hemos secuenciado al azar alrededor de 2000 clones de la fracción de insertos de 300-500 pb y otros 2000 de la fracción 500-700 bp están actualmente siendo secuenciados en el Genome Sequencing Center de la Washington University en Saint Louis, USA.

Hasta el momento la gran mayoría de los ADNc parciales analizados presentan una alta homología (>70%) con genes de *Arabidopsis thaliana* y Brassica sp. El EST más abundante presenta una alta homología (>90%) con el gen At2g02990 que codifica a la ribonucleasa RNS1 de *Arabidopsis thaliana*. Con una frecuencia de alrededor del 16% en la población de insertos con 300-500 bp, es posible que este EST codifique una proteína de almacenamiento en el hipocótilo/tubérculo de maca con un peso molecular aproximado de 25 kD. El reclutamiento de una proteína con actividad enzimática para cumplir la función de proteína de almacenamiento tiene un antecedente previo en la literatura, Andrews et al. (1988) demostraron que la patatina, la proteína de almacenamiento de papa (40% de la proteína total en el tubérculo) tiene una actividad lípido acyl hidrolasa. Aproximadamente 9.18% de los ESTs

codifican proteínas con homologías significativas (>80%) a proteínas desconocidas y aún no estudiadas de *Arabidopsis thaliana*. Un poco más del 3% de los ESTs no presentaron homología significativa con secuencias almacenadas en el GeneBank y posiblemente codifiquen a proteínas novedosas. Asimismo, la presencia anómala de componentes del aparato fotosintético en el transcriptoma del hipocótilo/tubérculo es muy llamativa. El 3.9% de los ESTs pertenecen a genes reguladores de la transcripción (factores de transcripción) y el 7.6% a genes involucrados en procesos de metabolismo secundario. También hay otros genes que están involucrados en la degradación de carbohidratos y en los estreses abióticos de tolerancia al frío.

Actualmente, estamos en el proceso de obtener los clones de ADNc de longitud completa de varios genes interesantes usando la técnica de 5' y 3'-RACE. La meta a largo plazo de nuestro grupo, que ahora incluye al laboratorio del Dr. Gustavo Gonzales, es caracterizar las correlaciones genes-metabolitos para los principales compuestos activos tanto en la maca roja como en la negra. Pensamos que un conocimiento en detalle de las principales rutas biosintéticas de la maca, como en otros sistemas, nos permitirá explorar el uso de la ingeniería metabólica como una estrategia efectiva para aumentar el rendimiento de algunos metabolitos específicos aumentando la eficiencia de las reacciones limitantes o bloqueando las rutas biosintéticas competidoras.

Con el financiamiento del International Center for Genetic Engineering and

Biotechnology, 2008-2010, hemos aprovechado las diferencias biológicas presentes en la maca roja y negra pues ellas ofrecen un modelo muy interesante de cómo unas supuestas pocas diferencias a nivel genético pueden resultar en propiedades biológicas tan dramáticamente diferentes. Como la Genómica se ha desarrollado en una investigación básicamente comparativa, el estudio de los perfiles de expresión génica proporcionan una herramienta poderosa para la elucidación de la base molecular de caracteres complejos en sistemas modelo no tradicionales.

En los últimos meses hemos desarrollado un microarreglo para maca, el MacaChip, basado en más de 7,000 secuencias obtenidas del secuenciamiento de alrededor de 10,000 clones de una genoteca de ADN complementario normalizada preparada a partir de RNAm de hipocótilos de maca roja y negra. Igualmente, hemos realizado una hibridación heteróloga de RNAm's de maca roja y negra a un microarreglo de *Arabidopsis* (Agilent). Los resultados parciales nos indican que en la maca roja se encuentran alrededor de 40 genes con expresión diferencial en relación a maca negra, y en maca negra, unos 11 genes con expresión diferencial con respecto a maca roja.

Finalmente, hemos logrado también establecer cultivos de células en suspensión derivados de ambos ecotipos que estamos caracterizando en cuanto a sus propiedades biológicas de sus variedades progenitoras y de los cuales pronto vamos a analizar sus transcriptomas hibridando sus RNAm's a microarreglos de *Arabidopsis thaliana*.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Achnine et al. (2005) Genomics-based selection and functional characterization of triterpene glycosyltransferases from the model legume *Medicago truncatula*. *Plant J.* 41: 875-887.

Aharoni, A. et al. (2000) Identification of the SAAT gene involved in strawberry flavor biogenesis by use of DNA microarrays. *Plant Cell* 12: 647-661.

Andrews, D.L. et al. (1988) Characterization of the lipid acyl hydrolase activity of the major potato (*Solanum tuberosum*) tuber protein, patatin, by cloning and abundant expression in a baculovirus vector, *Biochem J.* 252(1): 199-206.

Bustos-Obregón, E. et al. (2005) *Lepidium meyenii* (Maca) reduces spermatogenic damage induced by a single dose of malathion in mice. *Asian J. Androl* 7: 71-76.

Canter, P.H. et al. (2005) Bringing medicinal plants into cultivation: opportunities and challenges for biotechnology. *Trends in Biotech.* 23: 180-185.

Chen, L. et al. (2005) Generation and analysis of expressed sequence tags from the tender shoots cDNA library of tea plant (*Camellia sinensis*). *Plant Science* 168: 359-363.

Decker, G. et al. (2000) Characterization of proteins in latex of the opium poppy (*Papaver somniferum*) using two-dimensional gel electrophoresis and microsequencing. *Electrophoresis*, 21: 3500-3516.

Edwards, R. (2004) No remedy in sight for herbal ransack. *New Sci.* 181: 10-11.

Gachon, C.M.M. et al. 2005. Transcriptional co-regulation of secondary metabolism enzymes in *Arabidopsis*: functional and evolutionary implications. *Plant Mol. Biol.* 58: 229-245.

González, G.F. et al. (2001a) Effect of *Lepidium meyenii* (Maca) roots on spermatogenesis of male rats. *Asian J. Androl.* 3: 231-233.

González, G.F. et al. (2001b) *Lepidium meyenii* (Maca) improved semen parameters in adult men. *Asian J. Androl.* 3: 301-303.

González, G.F. et al. (2004) Effect of *Lepidium meyenii* (Maca) on spermatogenesis in male rats acutely exposed to high altitude (4340 m). *Journal of Endocrinology* 180: 87-95.

González, G.F. et al. (2005) Red maca (*Lepidium meyenii*) reduced prostate size in rats. *Reproductive Biology and Endocrinology* 3: 5.

González, C. et al. (2006) Effect of short-term and long-term treatments with three ecotypes of *Lepidium meyenii* (Maca) on spermatogenesis in rats. *Journal of Ethnopharmacology* 103: 448-454.

Goossens, A. et al. (2003) A functional genomics approach toward the understanding of secondary metabolism in plant cells. *PNAS, USA* 100: 8595-8600.

Guterman, I. et al. (2002) Rose scent: genomics approach to discovering novel floral fragrance-related genes. *Plant Cell* 14: 2325-2338.

- Hieter, P. and Boguski, M (1997) Functional genomics: It's all how you read it. *Science*, 278:601—602.
- Hirai, M.Y. et al. (2005) Elucidation of Gene-to-Gene and Metabolite-to-Gene networks in *Arabidopsis* by integration of Metabolomics and Transcriptomics. *J. Biol. Chem.* 280: 25590-25595.
- Hirai, M.Y. et al. (2007) Omics-based identification of *Arabidopsis* Myb transcription factors regulating aliphatic glucosinolate biosynthesis. *PNAS, USA* 104: 6478-6483.
- Kliebenstein, D. et al. (2002) Comparative Analysis of Quantitative Trait Loci Controlling Glucosinolates, Myrosinase and Insect Resistance in *Arabidopsis thaliana*. *Genetics* 161: 325-332.
- Mercke, P. et al. (2004) Combined transcript and metabolite analysis reveals genes involved in spider mint induced volatile formation in cucumber plants. *Plant Physiol.* 135: 2012-2024.
- Park, J-S. et al. (2004) EST analysis of genes involved in secondary metabolism in *Camellia sinensis* (tea), using suppression subtractive hybridization. *Plant Science*, 166: 953-961.
- Oksman-Caldentey, K. and Inzé, D. (2004) Plant cell factories in the post-genomic era: new ways to produce designer secondary metabolites. *Trends in Plant Science*, 9: 433-440.
- Rischer, H. et al. (2006) Gene-to-metabolite networks for terpenoid indole alkaloid biosynthesis in *Cataranthus roseus* cells. *PNAS, USA* 103: 5614-5619.
- Rubio, J. et al. (2006) *Lepidium meyenii* (maca) reversed the lead acetate induced-damage on reproductive function in male rats. *Food and Chemical Toxicology* (doi: 10.1016/j.fct.2006.01.007).
- Ruiz-Luna, A.C. et al. (2005) *Lepidium meyenii* (Maca) increases litter size in normal adult female mice. *Reproductive Biology and Endocrinology* 3: 16.
- Suzuki, H. et al. (2002) A genomics approach to the early stages of triterpene saponin biosynthesis in *Medicago truncatula*. *Plant J.* 32: 1033-1048.

La importancia de la Fisiología en un Megaproyecto de Biodiversidad

Gustavo Gonzales Rengifo, MD., Dr. Sc., Universidad Peruana Cayetano Heredia

1. INTRODUCCIÓN

Un megaproyecto debe incluir a diferentes áreas (multidisciplinaria) que le permitan, basado en la investigación, obtener el máximo del conocimiento sobre un tema y el máximo de rendimiento cuando se quiere aplicar los resultados a la producción. El Perú es un país megadiverso y por ello tiene una alta potencialidad en sus recursos naturales.

En los últimos años CONCYTEC ha desarrollado importantes talleres de expertos con la finalidad de identificar temas de estudios sobre biodiversidad. Entre ellos se encuentra el del conocimiento y uso de plantas medicinales con fines nutracéuticos.

2. EL PERÚ Y SU BIODIVERSIDAD

El Perú tiene una historia importante sobre medicina tradicional. Esto se demuestra en numerosos artículos que aparecen en la literatura científica; en ella se aprecia el uso de la medicina tradicional, en particular con plantas medicinales, en la costa (Carod-Artal y Vazquez-Cabrera, 2007; Bussmann y Sharon, 2006; Carod-Artal y col, 2006; De Feo, 2003; De La Cruz y col, 2007; Dobkin de Ríos y Cárdenas, 1980), la sierra (Netto y col, 2002; Hammond y col, 1998; Gonzales y Valerio, 2006; Villegas y col, 1997) y la amazonía (Gonzales y Valerio, 2006;

Villegas y col, 1997; Kloucek y col, 2005;2007; Lenaerts, 2006; Kvist y col, 2006; Arrevalo, 2005; Jovel y col, 1996; Rojas y col, 2003; Williams, 2001; Desmarchelier y col, 1996; Dobkin de Rios, 1989; Luna, 1984).

El Perú también ha contribuido al mundo con varios de sus recursos naturales como la papa (*Solanum tuberosum*) introducido por los españoles a Europa, o el caso de la quinina, alcaloide extraído del árbol de la quina (*Cinchona calisaya*) utilizado para el tratamiento de la malaria (Brick, 1999; Greenwood, 1992). La quinina fue llevada a Europa en el Siglo XVII. Actualmente muchas plantas peruanas están siendo evaluadas para tratar importantes problemas de salud como la tuberculosis (Oeser y col, 2005; Graham y col, 2003), enfermedades inflamatorias (Aguilar y col, 2002) y cáncer (Gonzales y Valerio, 2006; Shaw, 2003).

La investigación científica juega un papel importante para la medicina tradicional al tratar de demostrar mediante el método científico que las propiedades proclamadas para las diferentes plantas medicinales son válidas. Así, cuando la medicina tradicional, alternativa o complementaria es rigurosa puede ser ciencia (Cooper, 2004). La investigación basada en evidencia debe estar dirigida a establecer la mejor evidencia disponible (Chiappelli y col, 2005).

La importancia de la medicina tradicional está en que busca el bienestar humano (Olalde Rangel, 2005a; 2005b; 2005c; 2005d). El Perú no es ajeno a la importancia de la investigación científica para demostrar propiedades de las plantas medicinales. Un ejemplo es la planta andina *Lepidium meyenii* (maca) cultivada por más de mil años en las grandes alturas de los Andes centrales del Perú, y que es apreciada por sus propiedades nutricionales, energizantes y de mejora de la fertilidad (Gonzales y Valerio, 2006). Esta planta estuvo en peligro de extinción durante la década de los ochenta del siglo pasado (S. XX).

El Perú tiene una serie de plantas medicinales de alto interés en la comunidad internacional y que no ha sido aprovechada adecuadamente, una por falta de investigaciones que lleva muchas veces a promocionar los productos con propiedades que no han sido científicamente demostradas y segundo porque los productos se desarrollan obviando muchas veces los procesos empleados tradicionalmente. Por ello, es importante la innovación de los procesos agroindustriales que permitan que las plantas nativas desarrollen un valor agregado y que otorgue más beneficios a sus productores. Plantas como la maca, la uña de gato, el yacón, el camu camu, el maíz morado, el sacha inchi, la mashua y el tarwi son reconocidos por sus propiedades indudablemente favorables a la salud.

Durante el Simposio sobre megaproyectos, el Dr. Marcel Gutiérrez-Correa, ha propuesto algunos productos de la biodiversidad con posible interés en ser investigados desde diferentes aspectos dándole un mayor énfasis en la genómica y en la biología molecular. Así ha

establecido algunos objetivos específicos como:

1. Establecer un catálogo molecular de toda la biodiversidad endémica mediante código de barras de ADN.
2. Estudiar el genoma de especies de la agro-biodiversidad para su mejora genética
3. Estudiar los principios activos de alto valor de mercado en la diversidad vegetal
4. Determinar, aislar y secuenciar genes de alto valor económico de la biodiversidad
5. Desarrollar procesos biotecnológicos de productos génicos de alto valor comercial

En el objetivo 2, se plantea estudiar el genoma de especies vegetales para su mejora genética. En ella se plantea el secuenciar los genomas de la kiwicha, la quinua y el olluco y tal vez del sacha inchi. Igualmente plantea, el mejoramiento genético mediante cisgénesis para incremento de rendimientos, proteína, reducción de tóxicos, resistencia a cambio climático, valor agregado, etc. Menciona la existencia de un trabajo previo de catalogación y de recolección de accesiones, lo cual manifiesta constituye un excelente punto de partida.

El Perú tiene tan gran biodiversidad que es posible proponer numerosos recursos naturales para un estudio de tipo megaproyecto; éstas pueden ser estudiando plantas nutricionales como la kiwicha, la quinua y el olluco o puede ser utilizando plantas que tienen un alto componente medicinal y que son utilizadas en nuestra medicina tradicional desde milenios. Varios productos peruanos han dado la vuelta al mundo ya sea por su importante componente nutricional como la papa que salvó de la hambruna a Europa

y ahora es un alimento universal, o el caso del árbol de la quina de donde se obtiene la quinina que salvó muchas vidas allende los mares en otros continentes por efecto de la malaria.

Siendo importante el estudio de los genes y la expresión de las proteínas que de ella se derivan luego que estos genes son estudiados es necesario establecer que funciones están llevando a cabo. Esto se logra incorporando en el megaproyecto a la fisiología.

Cuando se establece una cadena de valor en la cual se pretende conocer y optimizar

todos los procesos que involucran, por ejemplo en el caso de plantas medicinales o alimenticias nativas o genéticamente modificadas, es necesario estudiar cada uno de los pasos que implican esta cadena de valor, que va desde el cultivo, el procesamiento de las plantas cosechadas en las diversas formas que den valor agregado, la comercialización y tal vez uno de los pasos más importantes es la comprobación que el consumo de estas plantas medicinales o nutricionales tengan el efecto que el usuario desea. En esto juega un papel claro e importante la fisiología (Figura 1).

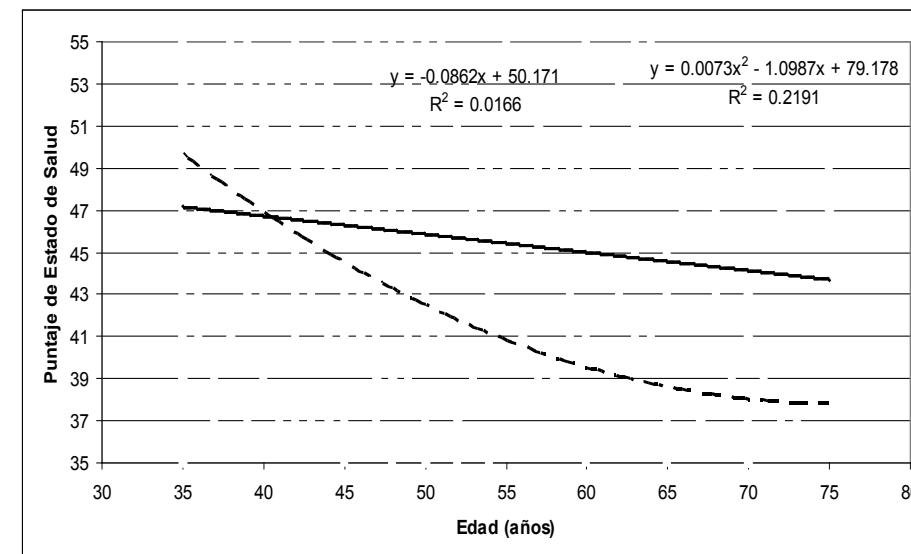


Figura 1. Un estudio en Carhuamayo muestra que los pobladores que consumen maca tienen mejor puntaje de estado de salud que aquellos que no lo consumen (Gonzales, 2010). Línea cerrada: Consumen maca ($r=0.12$; $P>0.05$). Línea abierta: No Consumen maca ($r=0.47$; $P<0.01$).

Los objetivos 3 y 4 de la propuesta del Dr. Marcel Gutiérrez-Correa sobre prospección química y molecular donde se propone el tamizado, identificación, aislamiento, determinación, de la estructura química de principios activos con actividad anticancerígena, antiinflamatoria y antibiótica. Aquí

hay una excelente oportunidad para la participación de los especialistas en fisiología. El tener un propuesto principio activo de una planta y tratar de evaluar su propiedad biológica comparándola con lo obtenido con la planta entera (raw material) es parte del quehacer de la fisiología cuyos resultados dirán

con precisión si vale la pena continuar trabajando con el propuesto principio activo o no (Yucra y col, 2008).

Un ejemplo claro es el camu camu que es apreciado en el Perú y en el extranjero por su gran contenido de ácido ascórbico; sin embargo, el interés degenerado y que se aprecia de manera significativa en las exportaciones se ve súbitamente disminuido en los últimos años probablemente por el costo, por la falta de tecnología para preservar el ácido ascórbico o porque existe de fácil acceso productos de ácido ascórbico a bajo costo. ¿Por qué se debería comprar camu camu a un costo mayor si hay productos sintéticos a menor precio?. La fisiología ha ayudado en ello. Un reciente estudio en humanos comparando un grupo que consume camu camu y otro grupo de varones que consume tabletas de ácido ascórbico en la misma cantidad presente en el camu camu demuestra que el grupo que consume camu camu tiene una mayor actividad antioxidante y mayor actividad de marcadores anti-inflamatorios que el grupo que solo consumió ácido ascórbico (Inoue y col, 2009) y con ello se demostraba que el Camu Camu es más que ácido ascórbico y que tiene otros principios activos de utilidad médica.

Existen ejemplos que por no incluir estudios de fisiología en el desarrollo de productos de plantas medicinales para comercialización, estas han perdido vigencia y valor en el mercado internacional a pesar de las bondades que pueda tener el producto. Dos ejemplos palpables son el de la maca (*Lepidium meyenii*) y el de la uña de gato (*Uncaria tomentosa* ó *Uncaria gyanensis*).

En la década de los noventa del siglo pasado ocurre el denominado *Boom de la*

maca y el *Boom de la uña de gato*. Ello basado en la publicidad mediática de ambos productos que atrajo la atención del mercado internacional. A la maca se le promocionaba como el “Viagra andino” y a la uña de gato como el tratamiento para la curación el cáncer, SIDA y por sus propiedades anti-inflamatorias. Estas propiedades no están descritas tradicionalmente; más aún en el caso de la uña de gato su uso tradicional para el tratamiento de cáncer y SIDA es improbable, pues el primer caso de SIDA en Perú se detecta en la década de los ochenta del siglo XX y el cáncer era poco probable que apareciera en la antigüedad debido a que la esperanza de vida era muy corta y la gente se moría a edades tempranas por otras enfermedades particularmente infecciosas. El cáncer es una enfermedad que aumenta en prevalencia a medida que las poblaciones se hacen más longevas. Más aún, si así fuera la posibilidad de diagnosticar cáncer en tiempos remotos sería muy poco probable. Es basado en la experiencia personal de un austriaco Schuler quien manifiesta haberse curado el cáncer con el consumo de uña de gato que genera un inusitado interés. Los estudios científicos que existen en la actualidad, establecer su importante actividad anti-inflamatoria (Valerio & Gonzales, 2005), aunque un reciente estudio experimental revela su potencial capacidad para inhibir células tumorales in vivo en animales (Dreifuss y col, 2010).

El problema que luego del boom decayera las exportaciones de uña de gato que se han mantenido en niveles bajos en toda la década del 2000 al 2010 es debido también a que el producto no se dispensa como extracto que es la forma como se consume tradicionalmente. En efecto, la parte que se utiliza del árbol de la *Uncaria tomentosa*

es la corteza, la cual debe ser hervida en agua, y es la cocción la que se consume. Sin embargo, el mercado de uña de gato en la mayor parte de veces no genera el proceso de extracción pues evidentemente eleva los costos de producción, y muchas veces lo que se vende es el molido de la corteza del árbol que se encapsula y así es consumida con la evidente poca o nula capacidad de absorción gastro-intestinal de los principios activos. Esta situación se agrava mucho más cuando se ofrecen productos que no corresponden a uña de gato. Por ello, es importante el papel que juega la fisiología en este proceso. La fisiología estudia las funciones, por lo tanto el consumo de la uña de gato puede ser evaluado a través de modificaciones en las funciones que genera este producto en el organismo del ser vivo, humano u animal, y por lo tanto ser factible de evaluarse sus propiedades basados en bioensayos que puedan asegurar que los lotes que se producen corresponden a productos con actividad biológica.

El caso de la maca es singular, la planta en la década de los ochenta estuvo en peligro de extinción por el poco interés de la población peruana en su consumo y estar limitado a autoconsumo en las zonas productoras de los Andes centrales del Perú. En la década de los noventa se produce el Boom de la maca al ser promocionado como “viagra andino” que crea una enorme expectativa en el mercado internacional particularmente en el japonés, incrementando con ello la producción y la exportación de esta milenaria planta, cuyo hipocótilo es la parte de utilidad comercial (Figura 2). El viagra nombre comercial del sildenafil es un producto que inhibe la fosfodiesterasa V y con ello mantiene más tiempo dentro de la célula al GMP cíclico un segundo mensajero, que cuando es activado por óxido nítrico favorece la dilatación muscular y la vasodilatación. Para la erección es de suma importancia ambos procesos que permitan aumentar el volumen de los

Difusión mediática

- Oportunidad: Desarrollo de las investigaciones científicas sobre las propiedades de la maca desde el 2000 y su reconocimiento a través de las publicaciones científicas que fueron a su vez socializados por los medios masivos de comunicación.
- Problema: Disminución de la producción y demanda de maca luego del Boom de los noventa debido a falsa publicidad como “Viagra Andino”

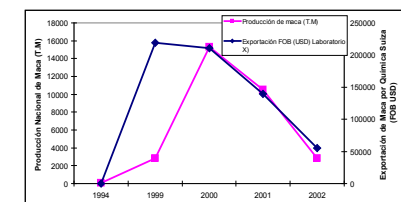


Figura 2. El boom de la maca en los noventa del Siglo XX y su espectacular caída de producción y exportaciones a finales de la misma década.

vasos sanguíneos favorecidos por la dilatación de los músculos cavernosos. Los estudios científicos más recientes no demuestran que la maca tenga este efecto (Gonzales y col, 2009). De donde aparece esta confusión. La primera evidencia de la maca y sus propiedades biológicas la ofrece Bernabé Cobo en su libro Historia del Nuevo Mundo publicado en 1653 (Cobo, 1653), en la cual describe que esta planta crece en las condiciones más difíciles de la zona del Chinchaycocha (actualmente Meseta de Bombón) donde difícilmente crece otra planta.

Estas zonas están en lugares gélidos, a más de 4000 metros de altura soportando baja presión barométrica, alta radiación solar y cósmica, baja humedad, grandes vientos y lluvias de los Andes centrales del Perú particularmente en las zonas de Junín y Pasco (Figura 3). Cobo menciona que los naturales de la diócesis de Chinchaycocha utilizan como alimento esta planta y que además es bueno para la fertilidad haciendo alusión que en estas zonas las poblaciones son más prolíficas que en otras similares pero que no consumen maca. Entonces la primera referencia histórica

se basa en un efecto de la maca sobre la fertilidad; en descripciones posteriores realizadas por otros cronistas o botánicos como Hipólito Ruiz (ver Gonzales, 2006) también hace referencia a su uso tradicional para mejorar la fertilidad. En alguna referencia más reciente se aprecia el término afrodisíaco. Esto puede deberse a su actividad energizante o “estimulante” como lo refiere Hipólito Ruiz. El término afrodisíaco es de amplio uso y significado y no necesariamente ni apropiadamente utilizado para mejorar la erección. El término es más bien usado para aumentar la libido o deseo sexual. Por ello, en la identificación de las propiedades de las plantas resulta de notable importancia la fisiología.

3. LA FISIOLOGÍA Y EL RENACER DE LA MACA

La primera publicación científica sobre las propiedades biológicas de la maca en una revista internacional ocurre recién el 2000 realizada en los Estados Unidos (Zheng y col, 2000). A partir de dicha publicación han aparecido en revistas internacionales más de 35 publicaciones peruanas sobre

propiedades biológicas de la maca desde el 2001 al 2010 (Gonzales y Valerio, 2006; Gonzales, 2008; Gonzales y col, 2006; 2009; Canales y col, 2000; Gonzales-Castañeda y col, 2008; Gonzales y col, 2009; Gonzales-C y col, 2006;2010). A raíz de las publicaciones científicas sobre las propiedades de la maca, la producción y exportación de maca se ha incrementado sostenidamente de año a año hasta la actualidad (Gonzales y col, 2006).

Los estudios científicos realizados en animales y humanos manifiestan un rol de la maca en mejora del deseo sexual en varones (Gonzales et al, 2003) y mujeres (Brooks et al, 2008). En animales hay reportes donde encuentran un aumento en la conducta sexual (Zheng et al, 2000) mientras otros encuentran pequeña respuesta (Lenz y col, 2007). La publicidad mediática sobre “viagra andino” tuvo un efecto importante aumentando las ventas como se muestra en las figuras 2 y 4; sin embargo, al no mostrarse el efecto que el usuario pretende es obvio que dejará de utilizarlo y eso se reflejará en disminución en las ventas. Ello es lo que realmente ocurrió disminuyendo con ello la producción y venta para fines de los noventa y al inicio del 2000.

A partir del 2000, aparecen las publicaciones sobre propiedades biológicas de la maca, en su rol nutricional (Canales y col, 2000) y en su efecto sobre la conducta sexual (Zheng y col, 2000) ambos en animales. En el 2001 se publican por primera vez el efecto de la maca sobre la espermatogénesis (producción de espermatozoides) tanto en animales (Gonzales y col, 2001) como en humanos (Gonzales y col, 2001). A partir de entonces el número de publicaciones sobre propiedades biológicas de la maca

se ha ido incrementando y hace un paralelo el incremento en las publicaciones con la producción, la exportación y el incremento de las empresas exportadoras (Figuras 5 y 6).

Como se aprecia en la siguiente Figura 7, la maca ha ido incrementando el monto en USD en exportaciones del 2001 al 2009 en tanto que la uña de gato se ha mantenido en niveles bajos en el mismo período.

Es por ello importante que el megaproyecto en biotecnología que se plantea desarrollar aplicado a las cinco plantas priorizadas por CONCYTEC o en las propuestas por el Dr. Marcel Gutiérrez-Correa deben incorporar la fisiología como parte importante de la evaluación del impacto de estos productos sobre el organismo vivo.

Es importante en este proceso el articular la tradición con la ciencia. Es claro que tradicionalmente se ha demostrado la mejor forma de obtener principios activos y como ello beneficia la salud. Tal es el caso de la uña de gato y de la maca. En este último caso, se ha demostrado experimentalmente que si los hipocótilos de la maca no son hervidos el efecto en los modelos utilizados son escasos o nulos. La población nativa de los Andes centrales productores tradicionales de maca lo usa luego de ser hervida o de ser macerada en alcohol (Gonzales, 2010). Un estudio científico en pobladores de Carhuamayo en Junín, demuestra que la población que consume maca tiene menos prevalencia de sujetos que se enfermaron en las dos últimas semanas (Figura 8) o tienen menor LDL colesterol (grasa mala) (Figura 9) que aquellos de la misma zona que no consumen maca.



Figura 3. Campo de cultivo de maca en la meseta del Bombón (Junín) a 4100 m.

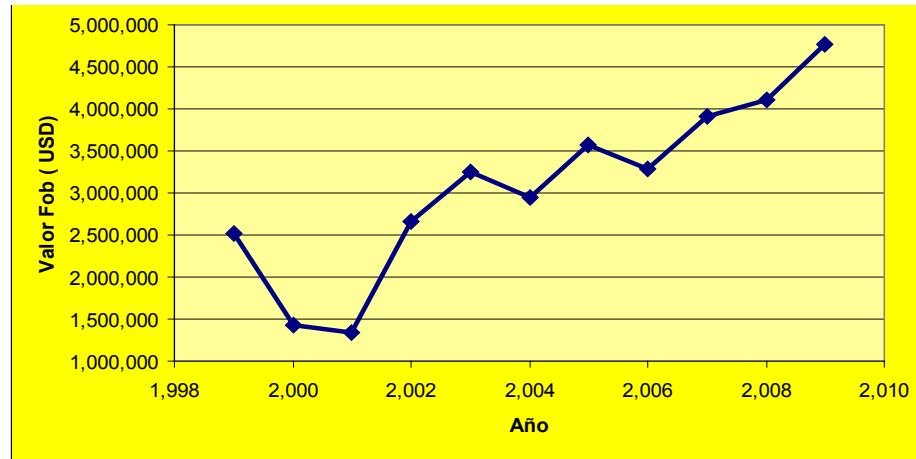


Figura 4. Exportación de maca desde 1999 hasta 2009.

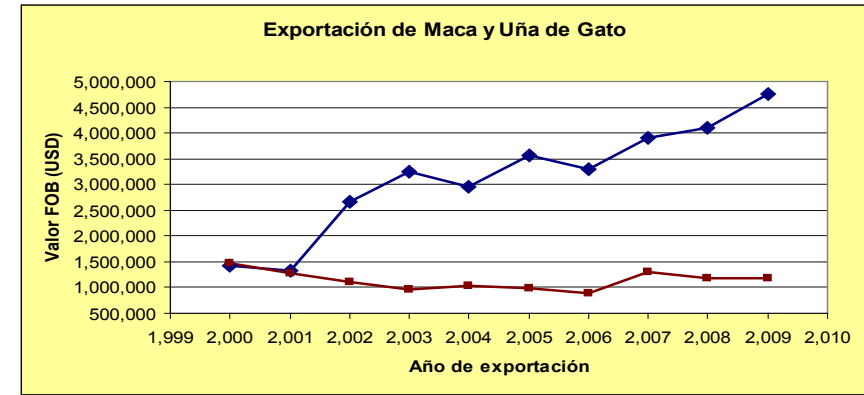


Figura 7. Comparación de la exportación desde el Perú de maca y uña de gato.

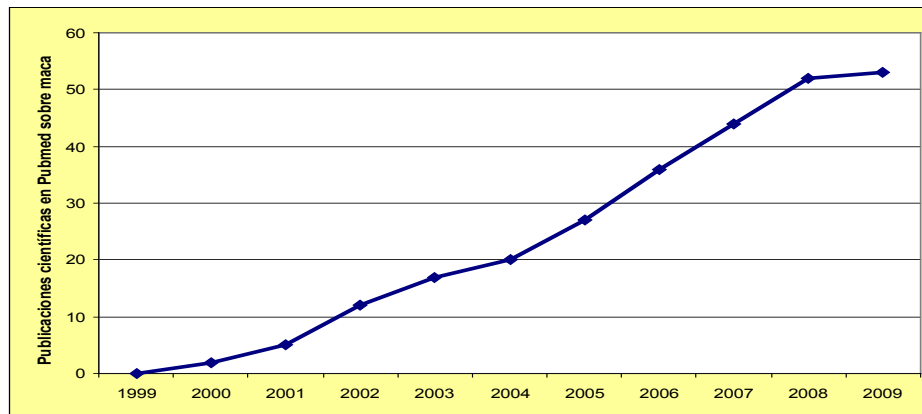


Figura 5. Número de publicaciones científicas indizadas en pubmed sobre maca.

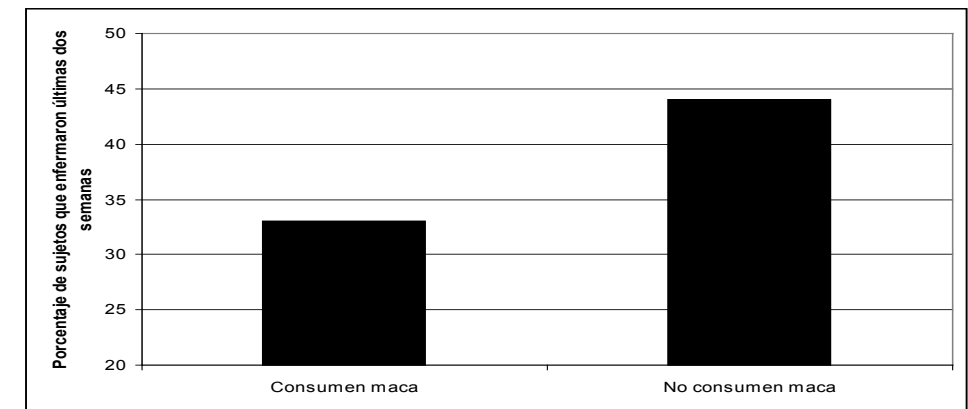


Figura 8. Porcentaje de sujetos entrevistados en Carhuamayo (4100 m) que refieren enfermarse en las dos últimas semanas. Chi cuadrado: 4.67; P<0.05.

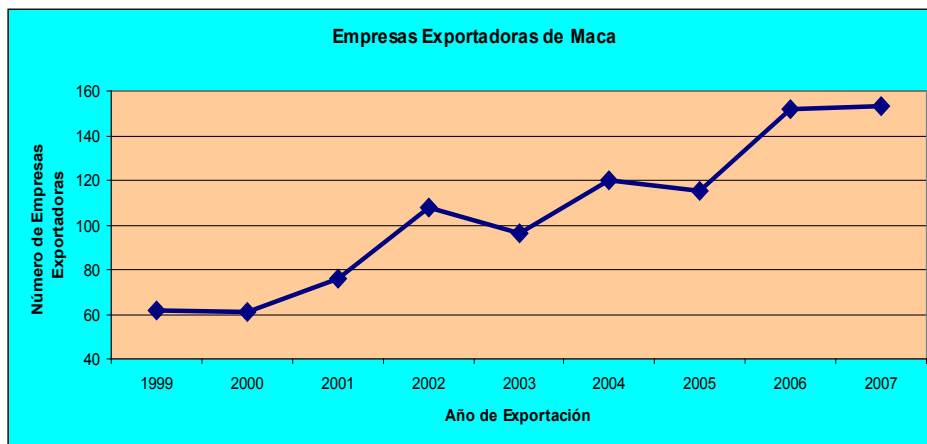


Figura 6. Número de empresas en Perú exportadoras de maca. Período 1999-2007. Fuente: Prompex

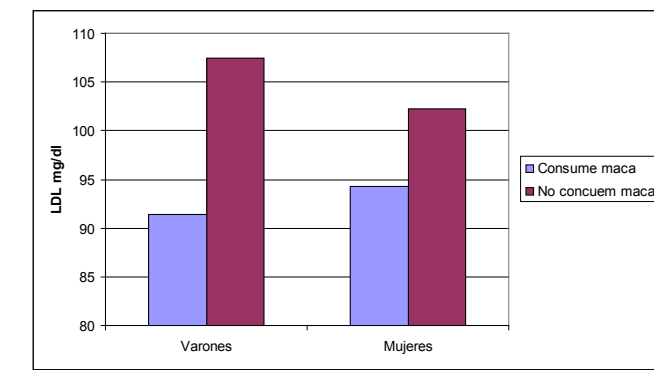


Figura 9. Niveles de LDL en varones y mujeres que consumen maca en Carhuamayo (Junín) comparados con aquellos que no consumen maca.

importancia de estudiar la fisiología y permitir tener marcadores biológicos para evaluar los diferentes procesos en una cadena de valor o de demostrar efectos de modificaciones o mejoras en sistemas de cultivo, de cosecha, de manejo post-cosecha y procesamiento del producto antes de ser comercializado para el consumo.

Es importante contribuir con la investigación científica de propiedades biológicas dando un valor agregado al producto y permitir que su demanda aumente como es el caso de la maca (Figura 7) y evitar que productos de potencial interés como el camu camu disminuyan sus ventas luego de una alta demanda (Figura 10).

5. INVESTIGACION DE PROPIEDADES BIOLÓGICAS EN PRODUCTOS NATURALES

El uso de plantas medicinales es la forma más común de medicación tradicional utilizada hoy en día en el mundo entero.

La investigación de las propiedades biológicas se constituye pues en fundamental para demostrar las bondades de las mismas. Cuando se trabajan con plantas, es necesario tener en mente que la investigación en plantas medicinales puede ser de dos tipos:

1. Tratando de comprobar un efecto conocido tradicionalmente
2. Tratando de manera aleatoria de comprobar en un número grande de plantas un efecto específico para lo cual no se sabe si existe o no conocimiento tradicional.

La investigación en productos naturales deben incluir los siguientes procesos:

- Primero: estandarización
- Segundo: Estudios preclínicos
- Evaluación de toxicidad
Ensayos biológicos
- Tercero: Ensayos clínicos (humanos):
FASE I: Seguridad y tolerancia
FASE II: Tolerancia y eficacia
FASE III: Ensayo clínico
FASE IV: Estudios post-marketing

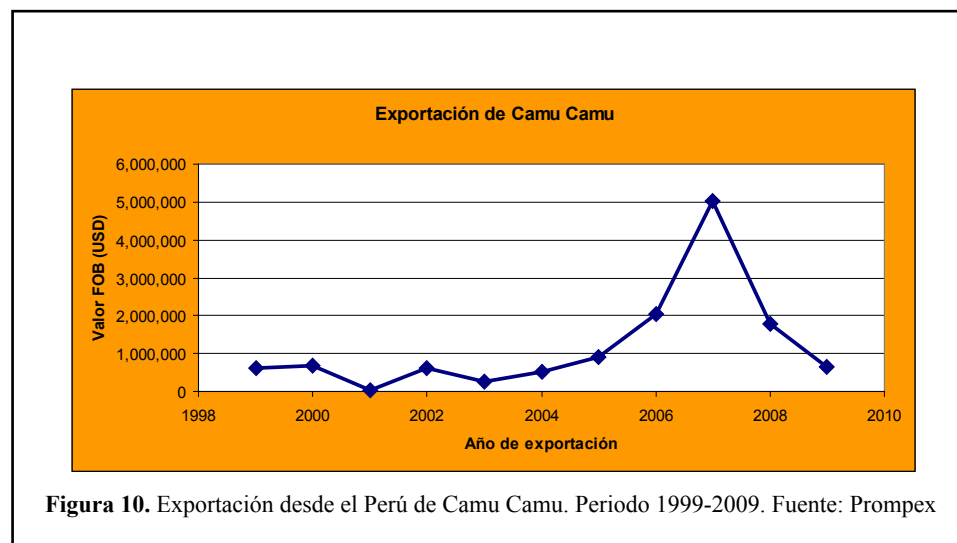


Figura 10. Exportación desde el Perú de Camu Camu. Periodo 1999-2009. Fuente: Prompex

Toda investigación con plantas medicinales con potencial aplicación a humanos debe incluir estudios toxicológicos. Los estudios toxicológicos implican toxicidad aguda, subcrónica y toxicología especial (genotoxicidad, mutagenicidad y carcinogénesis).

6. CONTROL DE CALIDAD DE PLANTAS

Se define Control de Calidad como el conjunto de procedimientos, técnicas y actividades operativas destinadas a medir, confrontar y verificar que la materia prima vegetal y los productos cumplan con las características y especificaciones requeridas. Las plantas que van a ser investigadas en humanos deben cumplir con un control de calidad que incluya:

- 1.- Características macroscópicas:
 - Color y apariencia
 - Sabor
 - Olor
- 2.- Análisis microbiológico
- 3.- Ensayos para determinar:
 - Materia extraña.
 - Arena y sílice.
 - Infestación de insectos.
 - Contaminación por roedores.
- 4.- Análisis físico – químico:
 - Contenido de humedad.
 - Contenido de ceniza.
 - Cenizas insolubles en ácidos.
 - Extractable en alcohol.
 - Extractable secuencial en éter de petróleo, cloroformo y metanol.
- 5.- Análisis Fitoquímico:
 - Cromatografía de capa delgada (CCD)
 - Contenido del principio activo o marcador químico (UV – Vis, HPLC, gases, valoración, etc.)
 - Determinación de otros fitoconstituyentes (dependiendo del tipo de

material): Alcaloides, flavonoides, taninos, Esteroides, Terpenos, Glicósidos, Aceite esencial.

- 6.- Otros análisis químicos:
 - Metales pesados.
 - Pesticidas residuales.

Un aspecto importante es que el lote que consume un usuario tenga la propiedad que se le atribuye, por ello es necesario desarrollar bioensayos que permitan evaluar que cada lote de un producto natural tenga la propiedad atribuida (Gonzales y Vásquez, 2008).

7. INVESTIGACION EN MEDICINA TRADICIONAL, ALTERNATIVA Y COMPLEMENTARIA (MTAC)

La MTAC va más allá de las plantas medicinales pues incluyen otras terapias como la acupuntura, la medicina mente-cuerpo, aunque la homeopatía y la fitoterapia se basan en muchos productos naturales.

Para un análisis de la investigación en MTAC es necesario plantear algunas interrogantes que son de mucha utilidad con la finalidad de sistematizar la misma y además dar pautas para generar preguntas o identificar problema, y con ello generar hipótesis y dar respuesta a las mismas basado en un adecuado diseño experimental. Entre ellas tenemos:

1. ¿Cuál es el estado de las investigaciones publicadas sobre MTAC en el País o región y qué instituciones las realizan?
2. Analizar la problemática de los actuales métodos que se usan en la investigación de la MTAC y cuáles otros podrían ser más apropiados para evaluar seguridad y eficacia.

3. ¿Cuáles procedimientos terapéuticos o terapias de MTAC están validados en el País vía investigación científica.
4. ¿Existen estudios de costo-efectividad de algún tipo de MTAC, que se aplique en el sistema de salud del país ó región?
5. ¿En la investigación de la MTAC, existe una participación de todos los agentes involucrados? (comunidad, profesional de salud, empresas, etc)
6. ¿Cuáles son las líneas de investigación que en el país o región se consideran prioritarias en la investigación de la MTAC?
7. ¿Cuáles son las fuentes de financiamiento para proyectos de investigación en MTAC en el país?

8. INVESTIGACION EN MEDICINA TRADICIONAL, ALTERNATIVA Y COMPLEMENTARIA (MTAC)

El Perú es un país megadiverso tanto en flora como fauna. Muchos de ellos son de gran utilidad económica tanto por su aporte nutricional en un momento donde es necesario mejorar la calidad, cantidad y disponibilidad de fuente de alimentos para la humanidad; sino también que hay mucha diversidad que desde tiempos históricos son conocidos por nuestras poblaciones nativas en lo que se denomina Medicina Tradicional Peruana.

El aporte de la fisiología ha sido fundamental en el país para demostrar o descartar propiedades biológicas que se asumen corresponde a determinado recurso natural. Por ello en un megaproyecto como el planteado por CONCYTEC, es importante incorporar a los fisiólogos como parte del equipo multidisciplinario de trabajo.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar JL, Rojas P, Marcelo A, et al: Anti-inflammatory activity of two different extracts of *Uncaria tomentosa* (Rubiaceae). *J Ethnopharmacol* 2002;81:271-276.

Arrevalo G. Interview with Guillermo Arrevalo, a Shipibo urban shaman, by Roger Rumrill. Interview by Roger Rumrill. *J Psychoactive Drugs*. 2005;37:203-207.

Brick JE. Quinine: the conquest of malaria and the beginning of the modern drug industrial complex. *W V Med J*. 1999;95:64-65.

Brooks NA, Wilcox G, Walker KZ, Ashton JF, Cox MB, Stojanovska L. Beneficial effects of *Lepidium meyenii* (Maca) on psychological symptoms and measures of sexual dysfunction in postmenopausal women are not related to estrogen or androgen content. *Menopause*. 2008;15(6):1157-62.

Bussmann RW, Sharon D. Traditional medicinal plant use in Northern Peru: tracking two thousand years of healing culture. *J Ethnobiol Ethnomedicine*. 2006;2:47.

Canales M, Aguilar JL, Prada A, Huamán C, Marcelo A, Carbajal L.: Evaluación Nutricional de *Lepidium meyenii* en ratones albinos y su descendencia. *Arch Latinoam Nutr* 2000;50:123-137.

Carod-Artal FJ, Vazquez-Cabrera CB. Mescaline and the San Pedro cactus ritual: archaeological and ethnographic evidence in northern Peru. *Rev Neurol*. 2006;42:489-98.

Carod-Artal FJ, Vazquez-Cabrera CB. Sacred psychoactive seeds and ritual

sacrifices in the Moche culture. *Rev Neurol*. 2007;44:43-50.

Chiappelli F, Prolo P, Cajulis OS. Evidence-based research in complementary and alternative history. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2005; 2: 453-458.

Cobo B. History of the new world. Biblioteca de autores españoles. 1956: 430 pp.

Cooper EL. Complementary and Alternative Medicine, When rigorous, can de Science. *Evid Based Complement Alternat Med*. 2004; 1: 1-4.

De-la-Cruz H, Vilcapoma G, Zevallos PA. Ethnobotanical study of medicinal plants used by the Andean people of Canta, Lima, Peru. *J Ethnopharmacol*. 2007; 111: 284-294.

De Feo V. Ethnomedical field study in northern Peruvian Andes with particular reference to divination practices. *J Ethnopharmacol*. 2003;85:243-56.

Desmarchelier C, Gurni A, Ciccía G, Giulietti AM. Ritual and medicinal plants of the Ese'ejas of the Amazonian rainforest (Madre de Dios, Peru). *J Ethnopharmacol*. 1996;52:45-51.

Dobkin de Rios M. A modern-day shamanistic healer in the Peruvian Amazon: pharmacopoeia and trance. *J Psychoactive Drugs*. 1989;21:91-99.

Dobkin de Rios M, Cardenas M. Plant hallucinogens, shamanism and Nazca ceramics. *J Ethnopharmacol*. 1980;2:233-246.

Dreifuss AA, Bastos-Pereira AL, Avila TV, Soley Bda S, Rivero AJ, Aguilar JL, Acco A. Antitumoral and antioxidant effects of a hydroalcoholic extract of cat's claw (*Uncaria tomentosa*) (Willd. Ex Roem.

& Schult) in an in vivo carcinosarcoma model. *J Ethnopharmacol*. 2010;130:127-33.

Gonzales C, Rubio J, Gasco M, Nieto J, Yucra S, Gonzales GF. Effect of short-term and long-term treatments with three ecotypes of *Lepidium meyenii* (MACA) on spermatogenesis in rats. *J Ethnopharmacol*. 2006;103:448-454.

Gonzales C, Cárdenas-Valencia I, Leiva-Revilla J, Anza-Ramirez C, Rubio J, Gonzales GF. Effect of different varieties of Maca (*Lepidium meyenii*) on bone structure in ovariectomized rats. *Research in Complementary Medicine*. 2010;17: 137-143.

Gonzales-Castañeda C, Gonzales GF. Hypocotyls of *Lepidium meyenii* (maca), a plant of the Peruvian highlands, prevents the ultraviolet A, B and C (UVA, UV B and UV C)-induced skin damage in rats. *Photodermatology, Photoimmunology and Photomedicine*. 2008; 24: 24-31.

Gonzales GF. Maca de la Tradición a la Ciencia. CONCYTEC: Universidad Peruana Cayetano Heredia: Lima, 2006.

Gonzales GF. MACA: Del alimento perdido de los Incas al milagro de los Andes: Estudio de seguridad alimentaria y nutricional. *Segurança Alimentar e Nutricional, Campinas*, 16 17 (1): 16-36, 2010.

Gonzales GF, Gonzales C, Gonzales-Castañeda C. *Lepidium meyenii* (Maca): A Plant from the Highlands of Peru – from Tradition to Science. *Research in Complementary Medicine*. 2009;16:373-80.

Gonzales GF, Valerio LG Jr. Medicinal plants from Peru: a review of plants as potential agents against cancer. *Anticancer Agents Med Chem*. 2006;6:429-444.

- Gonzales GF. Chapter 10. *Lepidium meyenii*, Maca, a plant from the highlands of Peru: Biological properties. In: Advances in Natural Products: Importance in Health and Economy. Ed. Zaheer Ahmed and Asha. Centre for Science and Technology of the Non-Aligned and Other Countries: Delhi. 2008: 69-75.
- Gonzales GF, Vasquez VB. Bioensayo para la maca negra. Acta Andina 2008; 10: 91-102.
- Gonzales GF, Córdova A, Gonzales C, Chung A, Vega K, Villena A. Improved sperm count after administration of *Lepidium meyenii* (Maca) in adult men. Asian J. Androl. 2001; 3: 301-304.
- Gonzales GF, Gasco M, Córdova A, Chung A, Rubio J, Villegas L. Effect of *Lepidium meyenii* (Maca) on spermatogenesis in male rats acutely exposed to high altitude (4340 m). J. Endocrinol. 2004; 180:87-95.
- Gonzales GF, Miranda S, Nieto J, Fernandez G, Yucra S, Rubio J, Yi P, Gasco M. Red maca (*Lepidium meyenii*) reduced prostate size in rats. Reproductive Biology and Endocrinology. 2005; 3(1):5.
- Gonzales GF, Nieto J, Rubio J, Gasco M. Effect of Black Maca (*Lepidium meyenii*) on one spermatogenic cycle in rats. Andrologia. 2006a; 38: 166-172.
- Gonzales GF, Rubio J, Gasco M, Yucra S, Gonzales C. *Lepidium meyenii*, Maca, a plant from the highlands of Peru: Pharmacological properties and impact on production and exportation. Proceeding of the 9th International Congress on Ethnopharmacology, Nanning-China; 2006:12-33.
- Gonzales GF, Vásquez V, Rodríguez D, Maldonado C, Mormontoy J, Portella J, Pajuelo M, Villegas L, Gasco M. Effect of two different extracts of red maca in male rats with testosterone-induced prostatic hyperplasia. Asian Journal of Andrology 2007;9:245-251.
- Gonzales GF, Gonzales C, Gonzales-Castañeda C. *Lepidium meyenii* (Maca): A Plant from the Highlands of Peru – from Tradition to Science. Research in Complementary Medicine. 2009; 16:373-380.
- Graham JG, Pendland SL, Prause JL, Danzinger LH, Schunke Vigo J, Cabieses F, Farnsworth NR. Antimycobacterial evaluation of Peruvian plants. Phytomedicine. 2003;10:528-535.
- Greenwood D. The quinine connection. J Antimicrob Chemother. 1992;30:417-427.
- Hammond GB, Fernandez ID, Villegas LF, Vaisberg AJ. A survey of traditional medicinal plants from the Callejon de Huaylas, Department of Ancash, Peru. J Ethnopharmacol. 1998;61:17-30.
- Inoue T, Komoda H, Uchida T, Node K. Tropical fruit camu-camu (*Myrciaria dubia*) has anti-oxidative and anti-inflammatory properties. J Cardiol. 2008;52(2):127-32.
- Jovel EM, Cabanillas J, Towers GH. An ethnobotanical study of the traditional medicine of the Mestizo people of Suni Mirano, Loreto, Peru. J Ethnopharmacol. 1996;53:149-156.
- Kloucek P, Polesny Z, Svobodova B, Vlkova E, Kokoska L. Antibacterial screening of some Peruvian medicinal plants used in Calleria District. J Ethnopharmacol. 2005;99:309-312.
- Kloucek P, Svobodova B, Polesny Z, Langrova I, Smrcek S, Kokoska L. Antimicrobial activity of some medicinal barks used in Peruvian Amazon. J Ethnopharmacol. 2007; 111: 427-429.
- Kvist LP, Christensen SB, Rasmussen HB, Mejia K, Gonzalez A. Identification and evaluation of Peruvian plants used to treat malaria and leishmaniasis. J Ethnopharmacol. 2006;106:390-402.
- Lenaerts M. Substances, relationships and the omnipresence of the body: an overview of Asheninka ethnomedicine (Western Amazonia). J Ethnobiol Ethnomed. 2006;2:49.
- Lentz A, Gravitt K, Carson CC, Marson L. Acute and chronic dosing of *Lepidium meyenii* (Maca) on male rat sexual behavior. J Sex Med. 2007;4:332-9.
- Luna LE. The concept of plants as teachers among four mestizo shamans of Iquitos, northeastern Peru. J Ethnopharmacol. 1984;11:135-156.
- Neto CC, Owens CW, Langfield RD, Comeau AB, Onge JS, Vaisberg AJ, Hammond GB. Antibacterial activity of some Peruvian medicinal plants from the Callejon de Huaylas. J Ethnopharmacol. 2002;79:133-138.
- Oeser CC, Escombe AR, Gilman RH, Friedland JS, Evans CA, Moore DA. Does traditional medicine use hamper efforts at tuberculosis control in urban Peru? Am J Trop Med Hyg. 2005;73:571-575.
- Olalde Rangel JA. The systemic theory of living systems and relevance to CAM: Part I: The theory. Evid Based Complement Alternat Med 2005a; 2: 13-18.
- Olalde Rangel JA. The systemic theory of living systems and relevance to CAM: Part II: The theory. Evid Based Complement Alternat Med 2005b; 2: 129-137.
- Olalde Rangel JA. The systemic theory of living systems and relevance to CAM: Part III: The theory. Evid Based Complement Alternat Med 2005c; 2: 267-275.
- Olalde Rangel JA. The Systemic Theory of Living Systems. Part IV: Systemic Medicine--The Praxis. Evid Based Complement Alternat Med. 2005d;2:429-439.
- Rojas R, Bustamante B, Bauer J, Fernandez I, Alban J, Lock O. Antimicrobial activity of selected Peruvian medicinal plants. J Ethnopharmacol. 2003;88:199-204.
- Shaw T. Peru tries vinegar against cervical cancer. Bull World Health Organ. 2003;81:73-74.
- Valerio L, Gonzales GF. Toxicological Aspects of South American Herbs: *Uncaria tomentosa* (Cat's Claw) and *Lepidium meyenii* (Maca). A Critical Synopsis. Toxicological Reviews 2005; 24: 11-35.
- Villegas LF, Fernandez ID, Maldonado H, Torres R, Zavaleta A, Vaisberg AJ, Hammond GB. Evaluation of the wound-healing activity of selected traditional medicinal plants from Peru. J Ethnopharmacol. 1997;55:193-200.
- Williams JE. Review of antiviral and immunomodulating properties of plants of the Peruvian rainforest with a particular emphasis on Una de Gato and Sangre de Grado. Altern Med Rev. 2001;6:567-579.
- Yucra S, Gasco M, Rubio J, Nieto J, Gonzales GF. Effect of different fractions from hydroalcoholic extract of Black Maca (*Lepidium meyenii*) on testicular function in adult male rats. Fertil Steril. 2008; 89 (5 Suppl):1461-7.
- Zheng BL, He K, Kim CH, Rogers L, Yu S, Huang ZY, Lu Y, Yan SJ, Qien LC, Zhen QY. Effect of a lipidic extract from *Lepidium meyenii* on sexual behavior in mice and rats. Urology 2000; 55: 598-602.

3 ENERGÍA

MEGAPROYECTO EN ENERGÍA: Centro Nacional de Energía

Dr. Agustín Zúñiga Gamarra, Instituto Peruano de Energía Nuclear

MEGAPROYECTO EN ENERGÍA: Centro Nacional de Energía

Dr. Agustín Zúñiga Gamarra, Instituto Peruano de Energía Nuclear

RECONOCIMIENTOS

Para la elaboración de este trabajo, agradecemos de manera muy especial a los doctores, Dr. Johnny Nahui Ortiz (UNI), Dr. Wilfredo Sosa (IMCA), y Dr. Daniel Marcelo (UDEP), por sus importantes opiniones y sugerencias para la elaboración de la presentación, tanto en la etapa previa, y durante el taller. Sus reconocidos conocimientos del tema dan confianza a que el megaproyecto pueda hacerse realidad.

RESUMEN

Se presenta la idea de construcción del Centro Nacional de Energía (CNE), como parte distintiva del Megaproyecto de Investigación en el área de Energía, propuesto en el encuentro organizado por el Consejo Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación (CONCYTEC). Con este fin el organizador propuso las siguientes condiciones de contorno: debía tomarse en cuenta la participación de las diversas ciencias duras (física, química, matemática y biología) y no debería limitarse el monto de la inversión. El CNE, será el lugar donde se realicen investigaciones en las diversas energías (limpias): renovables y nuclear, generando el conocimiento necesario para construir un país más inclusivo con desarrollo sostenible.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el origen del universo, la energía ha jugado el rol creador, transformador de todo, incluso de la vida. Igualmente en el punto de vista económico, productivo, desarrollo humano, y de competitividad de un país, es un factor crítico y decisivo.

Los que habitamos estos últimos años Lima (desde 2003), nos hemos podido percatar, que el país está atravesando un crecimiento económico impresionante, sin embargo, también reconocemos que los beneficios de ese crecimiento, no llegan a todos. Este proceso de desigualdad se refleja en los 6.6 millones de peruanos sin acceso a la energía eléctrica, principalmente en las zonas rurales (Figura 1).

Esto nos plantea el reto de entender, ¿qué país queremos para el 2050?, un país sin preferencias y con oportunidades (Inclusiva), pero con capacidad de vida decente para las generaciones futuras (Sostenible).

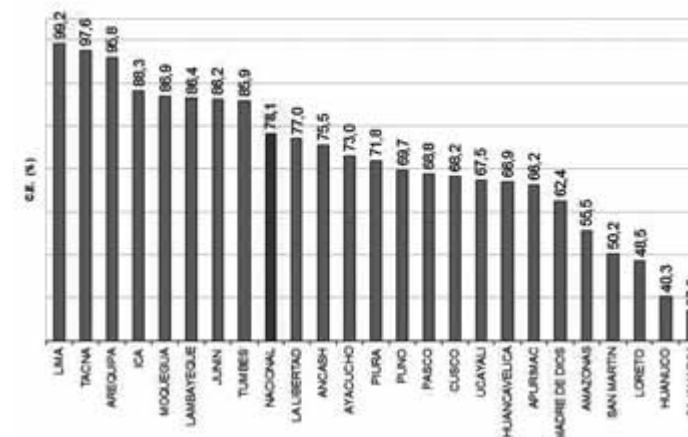


Figura 1. Coeficiente de electrificación por departamento, 2005.

Esta visión se ve inscrita en el reciente documento de política energética que establece el gobierno (sector, Energía y Minas). “Un sistema energético que satisfice la demanda nacional de energía de manera segura, oportuna, sostenible y eficiente, que se soporta en la planificación y en la investigación e innovación continua”(1).

En ese documento el sector, propone los siguientes Objetivos de la Política:

1. Contar con una matriz energética diversificada, competitiva y con énfasis en la fuentes renovables y la eficiencia energética.
2. Contar con un abastecimiento energético en un marco de Desarrollo Sostenible.
3. Gozar de acceso universal al suministro energético.
4. Contar con la mayor eficiencia en la cadena productiva y de uso de la energía, que incluya la aplicación productiva intensiva.
5. Ser autosuficientes en la producción de energéticos.
6. Contar con un sector energético con mínimo impacto ambiental y bajas emisiones de carbono.
7. Tener una industria del gas natural desarrollada y empleada en actividades de transporte, comercio e industria; así como la generación eléctrica eficiente.
8. Lograr el Fortalecimiento de la institucionalidad del sector energético.
9. Estar integrado con los mercados energéticos de países de la región, en los casos que sean favorables para el logro de la visión de largo plazo.

En el ítem de Lineamientos de Política el mencionado documento, dice, “Definir proyectos e inversiones para lograr una matriz energética diversificada en base a energías renovables – convencionales y

no convencionales, hidrocarburos, geotermal y nuclear que garanticen la seguridad energética del País”.

Sabido es que el Estado como ente promotor (fundamentalmente) y ejecutor, tiene la tarea de: Gestionar los recursos energéticos, que posibiliten: seguridad energética y autosuficiencia; adecuación con el medio ambiente y disponibilidad para las generaciones futuras en 20 ó 50 años, permanentemente. También, que garantice, la cantidad suficiente, oportunidad de acceso en el tiempo, calidad y confiabilidad. Y, que provea y asegure una matriz energética variada.

En resumen, todos los esfuerzos que realice el Estado y los gobiernos de turno deben orientarse a responder afirmativamente a la pregunta: ¿dispondremos de energía para los siguientes 20 ó 50 años?.

2. MEGAPROYECTOS E INVESTIGACIÓN

Visitando las diversas universidades, laboratorios y regiones del país. Nos percatamos que los esfuerzos por hacer investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), son pequeños, individuales y dispersos. Lo que mina las posibilidades de consolidar trabajos con mayor impacto económico tanto a nivel nacional como internacional.

Esta característica no solo se da en el sector energía, diríamos que es una característica de la investigación nacional, que se refleja en la reducida producción científica e innovación tecnológica, contabilizada por artículos y patentes. Esta cultura de atomización y de poco impacto, debería ser modificada y superada.

Así el problema no solo es escasez de recursos, sino también, la calidad de gestión de I+D+i en las diversas instituciones. De otro lado también se ha notado que los egresados y jóvenes profesionales e investigadores de las áreas de ciencias duras (Física, Química, Biología y Matemáticas) tienen muy poco empleo, hasta poco espacio para la realización de sus temas de tesis.

Para hacer frente a esta realidad, el CONCYTEC, está planteando diversos mecanismos, como las Cátedras, Parques Tecnológicos y los Megaproyectos. En cuanto a estos últimos que es la razón de ser de este artículo, podemos decir que el objetivo es proponer ideas de proyectos que convoquen a las ciencias duras (ver Figura 2), a fin de producir conocimiento necesario en el sector correspondiente

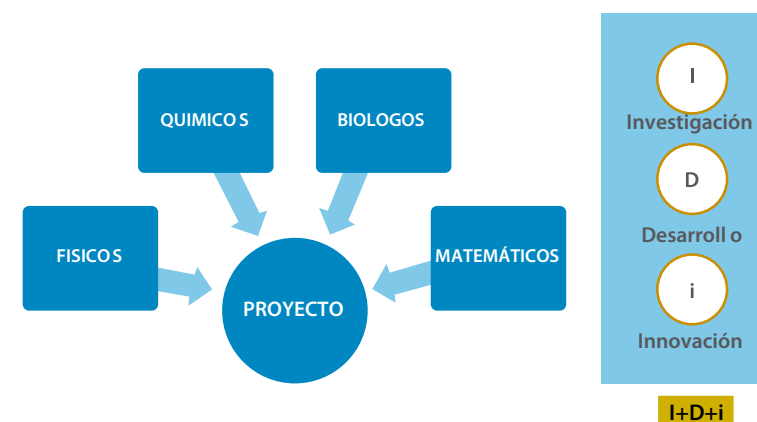


Figura 2. Los mega-proyectos convocan a las ciencias duras. La innovación, puede ocurrir, no necesariamente partiendo desde la investigación I.

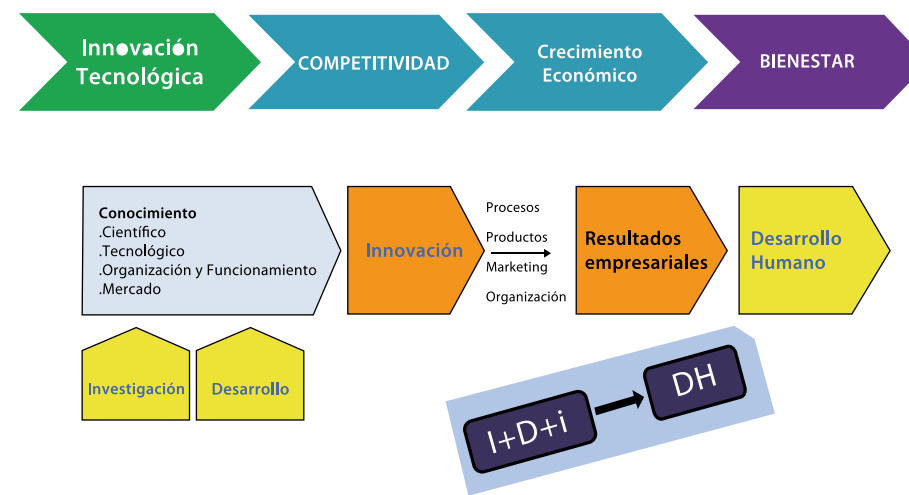


Figura 3. I+D+i y su impacto en el bienestar de la sociedad.

(energía), orientadas por las demandas de la sociedad peruana, a mediano y largo plazo.

Así, las propuestas deberían ser como un sueño basado en la realidad. Con el fin de ponernos de acuerdo en las definiciones de investigación (I), desarrollo (D) e innovación (i), a nivel internacional se disponen de normas que ha producido el país.

Así en la norma peruana se halla: Investigación (I): ... persigue descubrir nuevos conocimientos. Desarrollo (D): aplicación de los resultados de la investigación, ... construcción de prototipos aun no comercializables. Innovación (i): introducción exitosa de un nuevo o significativamente mejorado producto, proceso, servicio, método de comercialización en las prácticas internas de la empresa, institución, mercado o en la sociedad.

Para visualizar el proceso de I+D+i, se propone la Figura 3, donde se hace notar que, con la innovación, ganamos competitividad, consecuentemente, crecimiento económico el cual se transforma en bienestar de la sociedad. Esto demuestra la correlación entre I+D+i y los índices de desarrollo humano.

3. MARCO DE REFERENCIA

La implantación y disponibilidad de alguna fuente energía en un país requiere de la confluencia de tres aspectos que pueden ir cada una por carriles distintos, pero de su concurrencia dependerá la disponibilidad de la misma. Es decir, que no basta que se disponga de los recursos energéticos, ni que haya capacidad para generarla, ni que los factores externos ayuden; tiene que finalmente haber la decisión política. (Ver Figura 4). El primero tiene que ver con la

Gestión de Recursos Energéticos (GRE), que viene a ser la evaluación permanente y oportuna de la demanda y la oferta. El tratamiento de la demanda comercial y no comercial, requiere disponer estudios confiables desde el presente hasta los siguientes años (2050), considerando todas las energías renovables y no-renovables, incluidas la nuclear. En cuanto a la oferta es prioritario conocer oportunamente las reservas, probadas, probables y posibles, igualmente saber cuál es la capacidad instalada, y el estado de la I+D+i. Estos estudios de seguimiento requieren instalarse en el país, con gente calificada y equipamientos. Esto nuestro país adolece y debe convertirse en parte importante del Megaproyecto de Energía.

Un segundo aspecto determinante son los Factores Externos aquellos que entorpecen o empujan la viabilidad de alguna opción energética, entre ellos tenemos al cambio climático, crecimiento poblacional, altos costos de combustibles fósiles, reservas fósiles limitadas, inestabilidad política en los proveedores, obligaciones por acuerdos internacionales, el manejo de las incertidumbres y las externalidades. Estos factores externos han potenciado su importancia a la energía nuclear recientemente. Finalmente un tercer aspecto y tal vez el decisivo, es el factor político, pues aún cuando los otros dos estén considerando necesario alguna fuente de energía, esta puede decidir no incluirla en la matriz o postergarla. Para asegurar que los gobiernos no entorpezcan el desarrollo sostenible de un país, los planes energéticos deberían ser cuestiones de estado, solo de esa manera tendríamos confianza en respuestas a las preguntas: ¿disponemos de energía para el 2050?, ¿estamos gestionando adecuadamente los recursos energéticos?, ¿tenemos capacidad huma-

na e institucionalidad adecuados?, ¿hay aceptación del público?.

Los estudios de escenarios futuros plantean que la energía en los siguientes años será preferentemente de las fuentes consideradas limpias (renovables y la nuclear). Consecuentemente, para el caso nacional la tendencia será a utilizar un tercio de energías fósiles (preferentemente gas), un tercio de hidráulica y el otro tercio de limpias (incluida la nuclear).

4. PROPUESTAS

Siendo nuestro interés, la energía limpia (renovables y nuclear), es conveniente reconocer, el estado de arte tecnológico del país en cada una de ellas. Así, las energías solar y eólica, actualmente disponen de tecnologías capaces de dar servicios en cualquier parte del país, como se observan en los documentos que dispone el MEM. Esto nos dice que el grado de investigación que se requieren es menor. Eso no ocurre con las fuentes de bioenergía que utilizan seres vivos (animales o vegetales), por lo que el requerimiento de investigación será mayor. Una de las fuentes que estará entre las más requeridas a futuro es el hidrogeno, en nuestro país esta no se ha desarrollado, por lo que se requerirá más investigación. Finalmente, en el ámbito nuclear hay dos aspectos que llaman la atención mundial, el uso de la fisión (las centrales nucleares actuales operativas) y la fusión nuclear (aún no comercial, pero de interés mundial). En el primer caso, la investigación debería estar dirigida a la producción de combustibles inicialmente, para el reactor de investigación (RP10), y luego para reactores de potencia de 1ª y 2ª generación, y a largo plazo para reactores de 3ª generación.

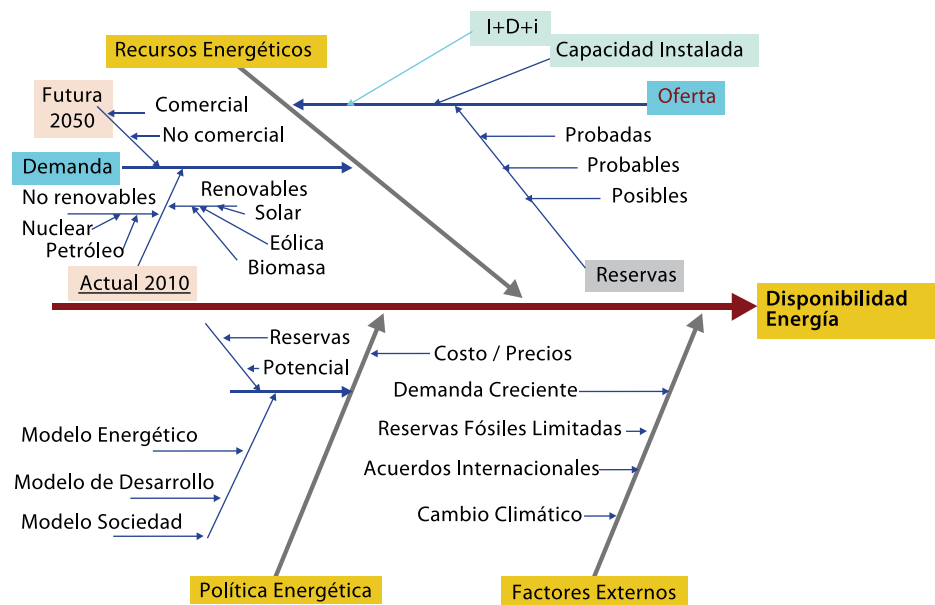


Figura 4. Aspectos fundamentales para la disponibilidad de una fuente de energía.

Resumiendo las propuestas de investigación necesaria en los siguientes años serían:

- Evaluación de la demanda y oferta de las energías: Objetivo: Dar respuesta permanente a las exigencias de evaluar la demanda, proyecciones, contrastación con la oferta. Esto exigirá disponibilidad de softwares, equipamiento adecuado.
- Eficiencia energética: Objetivo: Estudiar los mecanismos, maneras, y tecnologías, necesarias para mejorar el uso de las fuentes de energía. Cómo las diversas fuentes se insertan al sistema nacional interconectado de energía.
- Uso del hidrógeno: Objetivo: Estudiar las maneras de producir hidrógeno y cómo almacenarlas y transportarlas. Esto también incluiría la posibilidad de orientar ideas para la producción de dispositivos o tecnologías de uso de esta fuente de energía.
- Uso de los biocombustibles: Objetivo: Estudiar los organismos vivos, animales o plantas que permitan producir energía. Consecuentemente las maneras de conversión, almacenamiento y

transporte.

- Producción de combustibles nucleares de última generación: Objetivo: Estudiar los fundamentos para producir combustibles de reactores de 3a y 4a generación.
- La fusión nuclear: Objetivo: estudiar los fundamentos para la producción de las reacciones nucleares de fusión, tecnologías de almacenamiento y generación comercial.

Pero la idea central no es que estos proyectos sean realizados de manera dispersa por alguna universidad o instituto, sino que todas ellas puedan ser efectuadas en un mismo ambiente, al cual lo denominamos como Centro Nacional de Energía (CNE), allí las energías que tendrían sus laboratorios son: Solar, Eólica, Biocombustibles, Geotérmica, Hidrógeno y Nuclear. Se alinearían con ellos, un centro de simulación y modelización, y también talleres compartidos de instrumentación, mecánica, análisis entre otros. Y, también contaría con un centro de formación de posgrado. El esquema se presenta en la Figura 5.



Figura 5. Esquema del Centro Nacional de Energía, produciendo conocimiento en fuentes de energía limpias desde Huarangal.

Los costos son de dos categorías, primero el correspondiente a equipamiento e infraestructura (100 millones de dólares) y segundo el costo de mantención de personal de investigadores de nivel internacional (50) y alumnos de posgrado (100), con un costo anual de 5 millones de dólares. Con fines de implementación de este CNE, sugerimos que se construya alrededor del actual Centro Nuclear RACSO de Huarangal, donde hay espacio e infraestructura básica disponibles. Esta sugerencia adicionalmente, tiene la ventaja de relanzar dicho centro a la sociedad nacional, pues su alejamiento ha hecho que esté en peligro su subsistencia, en razón de la edad promedio avanzada de los especialistas. También es conveniente resaltar que, la inversión del país en I+D es del orden del 0.15% del PBI, esta magnitud es la menor de todos los países de la región, consecuentemente, todas las voces de los sectores académicos, y empresariales, coinciden que la competitividad del país no será sostenible si no se invierte en ciencia, tecnología e innovación. Así, habiendo intención política de incrementar el % del PBI, digamos a 1%, entonces se dispondría de dinero anual de casi 1500 millones de dólares, con lo que el monto mencionado sería viable. Si esto se realiza, habría que llevar nuestra imaginación y situarse en los siguientes 10 años (2021), momento cuando tendríamos un contingente apreciable de doctores, artículos, patentes e industrias de base tecnológica, como nunca antes vista. Esta oportunidad no se debería desperdiciar.

5. CONCLUSIONES

- La convocatoria es plausible en tanto intenta integrar a los especialistas de

ciencias básicas (Física, Química, Biología y Matemática) con la comunidad científica y tecnológica en base a megaproyectos de investigación que miran fortalecer la ciencia a largo plazo fundamentalmente.

- La convocatoria debe ser vista como el inicio de este trabajo, pues los proyectos propuestos son más bien ideas, por lo que con la participación de los integrantes de las mesas de trabajo y en otras reuniones deberían consolidarse.
- El Centro Nacional de Energía (CNE) es una necesidad si queremos dar pasos mayores en Investigación con capacidad competitiva. En el país se dispone de espacio en algunas instituciones como el IPEN en Huarangal.
- Los proyectos planteados reconocen que la Investigación (I) en mayor grado lo requieren las fuentes de energía de hidrogeno, biocombustibles y combustibles nucleares. Sin embargo, no se puede descuidar las necesidades que pueden surgir en las otras fuentes (solar, eólica y geotérmica).
- En reuniones posteriores con el presidente del CONCYTEC (Dr. Augusto Mellado) se extendió la idea del centro de energía para convertirse en un Parque Tecnológico de la Energía, de ese diálogo surgió la concepción básica (ver Anexo). Su estructura difiere bastante, por cuanto la idea inicial era para construir fundamentalmente conocimiento proveniente de la I+D+i, en cambio con el Parque, se incluyen muchos ambientes, relacionados con las empresas, servicios empresariales, incubadoras y conexión con la venta de los productos y servicios a mercados nacional e internacional.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Plan Nacional de Ciencia Tecnología e Innovación Para la Competitividad y el Desarrollo Humano: PNCTI 2006-2021, Concytec.

Política Energética Nacional del Perú 2010-2040, D.S. N°064-2010-EM.

Zúñiga A., Exposición: Gestión I+D+i Orientada por la Demanda, Centro Nuclear RACSO, 2010

ANEXO 1

Parque Tecnológico de Energía de Huarangal

En el parque tecnológico (ver Figura 6) se facilitará la conexión entre la investigación (academia) y al mercado, mediante empresas de base tecnológica (EBT) que utilizarán el conocimiento producido. Para este propósito el parque dispondrá de laboratorios implementados con equipos de última generación, personal calificado y captado bajo concurso internacional, las áreas comunes como talleres de mecánica, instrumentación, diseño; espacio para las empresas; ambientes de incubadoras de empresas y área de marketing, que facilite la venta de productos y servicios a nivel nacional e internacional. Como se ve esta opción es más completa que el propuesto del CNE. Por lo que requerirá de mayor presupuesto.

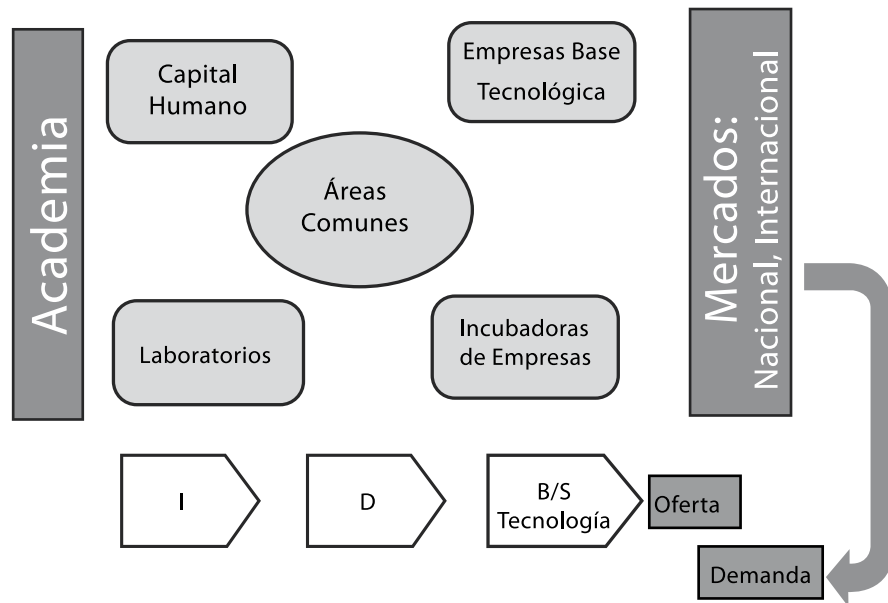


Figura 6. Esquema del Parque Tecnológico de Energía de Huarangal (PTEH).

4 TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN

MEGAPROYECTO EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN: Informática en Bio-Medicina

Dr. Carlos Valdez Velásquez-López, Ministerio de Transportes y Comunicaciones
Cesar Beltrán Castañon, Ph.D., Universidad Nacional San Agustín de Arequipa
José Segovia-Juárez, Ph.D., CONCYTEC

MEGAPROYECTO EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN: Informática en Bio-Medicina

Dr. Carlos Valdez Velásquez-López, Ministerio de Transportes y Comunicaciones
Cesar Beltrán Castañon, Ph.D., Universidad Nacional San Agustín de Arequipa
José Segovia-Juárez, Ph.D., CONCYTEC

RESUMEN

En este capítulo se propone un megaproyecto de Ciencia, Tecnología e Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs). Previamente se analiza la situación actual de las TICs en el país en relación con la competitividad, así como también se evalúan los esfuerzos llevados a cabo por los sectores público y privado, haciendo notar sus aciertos y debilidades. Sobre dicha base, se proponen acciones concretas para dar un salto tecnológico con relación a las TIC, incluyendo entre otras, el incremento de recursos humanos calificados, de la producción científica y tecnológica, de mejoras institucionales mediante el establecimiento del cargo de Estratega de TIC en las entidades del Estado, y el impulso del Gobierno Electrónico. El megaproyecto identificado es Investigación y Desarrollo en Tecnologías de la Información y Comunicación en Bio-medicina, donde se estudiarán algoritmos y herramientas para el análisis y gestión de datos, modelos de simulación, gestión de la información, gestión de historias clínicas electrónicas, visualización y análisis de imágenes, aplicación de técnicas de inteligencia artificial, entre otros aspectos. Además, se requiere

desarrollar una infraestructura de software colaborativo, ambientes de software integrado e inteligente para la gestión quirúrgica y de consultorios. El análisis de datos, procesamiento de imágenes, búsqueda de patrones, modelamiento y simulación de componentes biológicos, entre otros problemas, requieren de alto poder de procesamiento computacional, para lo cual se debe instalar un Centro de Computación de Alta Velocidad, que deberá estar conectado a los centros de investigación con redes de alta velocidad.

1. INTRODUCCIÓN

La relación entre TICs y competitividad es un tema que ha merecido la evaluación de organismos como el World Economic Forum (WEF) (WEF 2010). El Perú ocupa actualmente la posición 73 en competitividad (de un total de 139 países), y pertenece al grupo de los países considerados en la Etapa 2 de desarrollo. Al desagregar los 12 pilares de la competitividad se observa que en cuanto a aptitud tecnológica e innovación, nos encontramos en las posiciones 74 y 110, respectivamente. Por su parte, la Aptitud Tecnológica es uno de los 6 pilares considerados clave para las economías que se encuentran en la Etapa 2 y forma

parte del Networked Readiness Index (NRI), el cual es un indicador publicado en el Global Information Technology Report 2009-2010 del WEF. Dicho indicador se desagrega a su vez en aptitud individual, aptitud de las empresas, y aptitud del gobierno, y cada uno de ellos en diversas variables relacionadas a las TICs incluyendo el gobierno electrónico. Los resultados revelan que nos encontramos en posiciones desventajosas frente a países como Chile, Brasil, Uruguay, Argentina y Colombia.

Un hecho importante a tener en cuenta es el innegable crecimiento del mercado de los servicios móviles cuya penetración es alrededor del 100%. Del mismo modo, el número de conexiones a Internet es de aproximadamente un millón. Ambos aspectos, que reflejan el crecimiento de un sector de la infraestructura de telecomunicaciones, significan una importante oportunidad para el desarrollo de aplicaciones utilizando las TICs en diversos sectores. Por otro lado, si bien se han llevado a cabo múltiples esfuerzos de los sectores público y privado, es necesario dar el salto a través de acciones concretas, tales como implementación de la red dorsal de fibra óptica, la sensibilización y el convencimiento del más alto nivel del gobierno, el replanteamiento del orden institucional para crear el cargo del Estratega de TIC en todas las entidades del Estado¹, la recuperación y aprovechamiento de trabajos previamente realizados que no han sido aprovechados así como de recursos humanos calificados, la necesidad de presupuestar, financiar e invertir en proyectos identificados por cada sector en el marco de la Agenda Digital, y trascender con dichos proyectos a los foros internacionales.

En nuestro país, por aún ser uno en vías de desarrollo, se ven a las TICs como un medio para el fortalecimiento de los sectores económicos que más destacan (minería, pesca, agricultura, ganadería, entre otros), otro de los motivos que lleva a este tipo de concepción de las TICs es el hecho que nuestra economía es del tipo primaria, es decir que depende de la explotación de sus recursos naturales.

Creemos que lo anterior es correcto, en vista que nuestros sectores productivos clásicos deben tecnificarse y pasar al siguiente estadio de innovación. Sin embargo, es bueno también pensar en generar y promover nuevos sectores económicos que no solo aporten al PBI del país, sino que también que el país se genere una tecnología propia, para de este modo dar el salto para una economía del conocimiento.

El presente capítulo se ha organizado como sigue: i) en primer lugar, se analizan las cifras publicadas por el WEF, relacionadas a las TIC; ii) en segundo lugar, se describe y evalúa los esfuerzos que a la fecha hemos llevado a cabo en relación a las TIC, tanto en el sector público como en el sector privado; iii) en tercer lugar, sobre la base de la experiencia recorrida, se desarrollan los puntos que consideramos clave a fin de dar el salto en TICs.; iv) en cuarto lugar, se propone el megaproyecto Investigación y Desarrollo de TICs en Bio-medicina.

2. ANÁLISIS DE LAS CIFRAS DEL WEF SOBRE COMPETITIVIDAD Y RELACIONADAS A LAS TIC

2.1 Competitividad: Situación del Perú

El Foro Económico Mundial (World Economic Forum, WEF)

publica anualmente el Informe Global de Competitividad (Global Competitiveness Report 2010-2011), que contiene el ranking en competitividad¹ de los países (139 el año 2010). Según el WEF, dicha

competitividad se basa en 12 pilares, los cuales se muestran en la Figura 1. Los pilares mostrados están relacionados entre sí, y asociados al tema de las TIC se tienen los pilares 9 (aptitud tecnológica)² y 12 (innovación)³.

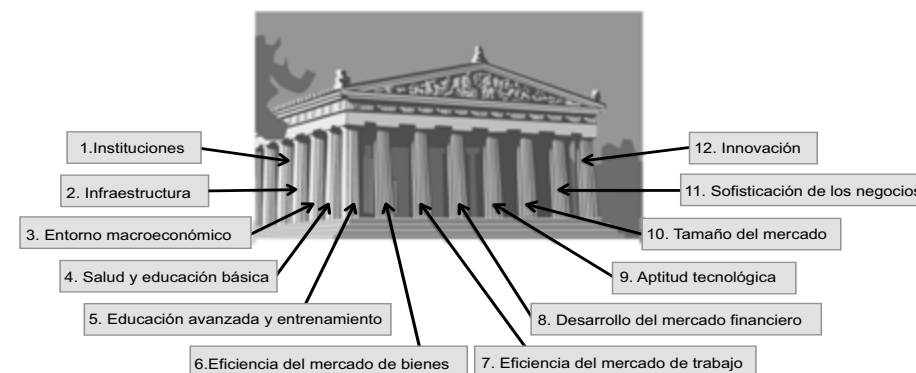


Figura 1. Los 12 pilares de la competitividad.

Los 12 pilares se agrupan en tres categorías, y vienen a ser requisitos clave para el desarrollo. Se tienen así, cuatro pilares considerados como Requerimientos Básicos, clave para el desarrollo de los países que se encuentran en la Etapa 1 de desarrollo (economías basadas en factores). En forma similar, se tienen seis pilares relacionados a la Mejora de la Eficiencia, clave para el desarrollo de los países que se encuentran en la Etapa 2 de desarrollo (economías basadas en la eficiencia, donde el Perú se encuentra actualmente). Por último, se tienen 2 pilares denominados Factores de Innovación y Sofisticación, clave

para el desarrollo de los países que se encuentran en la Etapa 3 (economías basadas en la innovación), ver Figura 2. El WEF ubica al Perú en la Etapa 2 de desarrollo, aunque todavía falta llegar a una Etapa de Transición de la Etapa 2 a la Etapa 3, que es donde se ubican los países desarrollados.

En la Figura 4, se observan los indicadores correspondientes al Perú, para cada pilar, de donde se aprecia que en cuanto a Aptitud Tecnológica, nos encontramos en el puesto 74. Este pilar (9°), es motivo de análisis en el siguiente punto, tomando como base los resultados publicados por el WEF

1. El WEF define la competitividad como un conjunto de instituciones, políticas y factores que determinan la productividad de un país.
2. Aptitud tecnológica: "Mide la agilidad con la que una economía adopta tecnologías existentes para mejorar la productividad de sus industrias, con énfasis específico en su capacidad para aprovechar al máximo las TIC en sus actividades diarias y en los procesos de producción para incrementar la eficiencia y competitividad".
3. Innovación: "En el largo plazo, los estándares de vida se pueden mejorar solamente mediante innovación tecnológica. La innovación es de particular importancia para las economías, en la medida que se acercan a las fronteras del conocimiento, y la posibilidad de integrar y adaptar tecnología exógena tiende a desaparecer".

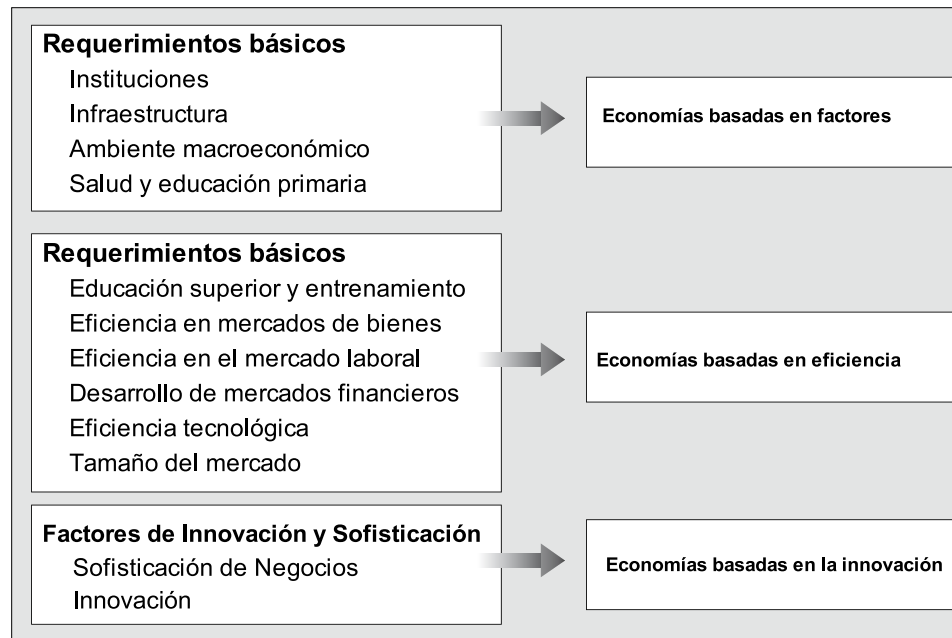


Figura 2. Los 12 pilares agrupados por tipo de economía.
Fuente: Global Information Technology/Report: 2009-2010, WEF.

en el Global Information Technology Report (GITR).

2.2 Las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) según el Networked Readiness Index (NRI).

El WEF ha dedicado tres décadas a la investigación sobre el impacto de la innovación y la tecnología en la competitividad de los países, dado su rol en el crecimiento de largo plazo y en la prosperidad. Los resultados se publican en forma anual, y se consolidan en el Networked Readiness Index (NRI) del Global Information Technology Report 2009-2010 (WEF 2010). El NRI (Índice de Aptitud Articulado) es una herramienta metodológica que identifica los factores que posibilitan la aptitud (grado de preparación) de un país para las TICs, permitiendo una evaluación comparativa de sus

fortalezas y debilidades. El NRI se desagrega en 3 sub-índices: entorno, aptitud y utilización, y éstos a su vez en 3 pilares cada uno: individual, empresas y gobierno, tal como se muestra en la Figura 3.

Por su parte, los pilares: individual, empresas y gobierno, se desagregan en 8, 10, y 3 variables, respectivamente, lo cual se analiza a continuación. Previamente, en la Figura 4, se ilustra el ranking mundial, mostrándose los países que ocupan los primeros lugares a nivel mundial, y luego los países de la región sudamericana que ocupan posiciones por encima del Perú. Los valores entre paréntesis se refieren a las posiciones del presente periodo.

Como puede apreciarse, el Perú no solamente ha descendido 3 posiciones respecto al periodo anterior, sino que

además se encuentra bastante distante de países como Chile, Uruguay, Colombia y Brasil. Tal como se observará en adelante, estos países nos superan en una serie de variables, lo cual se debe a la definición y adopción temprana de políticas de Estado con relación a las TICs.

Las variables elegidas que a continuación se detallan, están relacionadas a las telecomunicaciones y a las TICs.

2.2.1 Aptitud individual

En este caso se consideran las variables: i) tarifas de banda ancha fija; y, ii) tarifas de telefonía móvil (promedio por minuto). En ambos casos se trata de

valores en dólares americanos (US\$) y al tipo de cambio en PPP (Purchasing Power Parity), al 2008.

Tal como se puede apreciar en las Figuras 5 y 6, si bien la tarifa de la banda ancha fija es una de las más altas de la región, en el caso de las tarifas de telefonía móvil (promedio por minuto), sucede lo contrario. En el primer caso, ello explica el hecho de que muchos abonados de telefonía fija no tengan acceso a Internet mediante ADSL. En el caso de la telefonía móvil, las tarifas reflejan la existencia de competencia efectiva en dicho mercado, haciendo la salvedad que se trata de servicios de voz, no de datos (el mercado de banda ancha móvil en el país recién ha despegado en 2009).

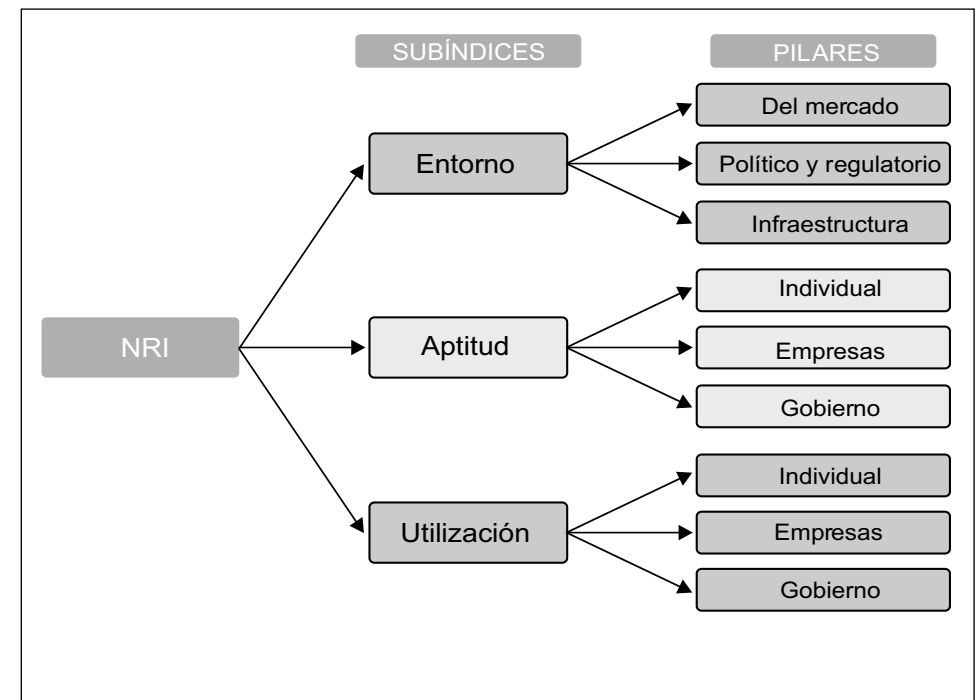


Figura 3. La aptitud tecnológica como subíndice del NRI.

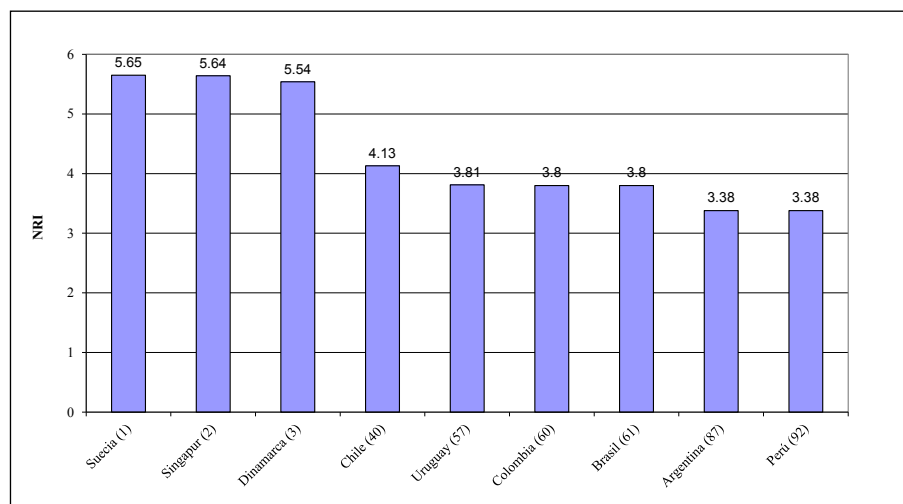


Figura 4. El ranking mundial y de la región sudamericana del NRI.

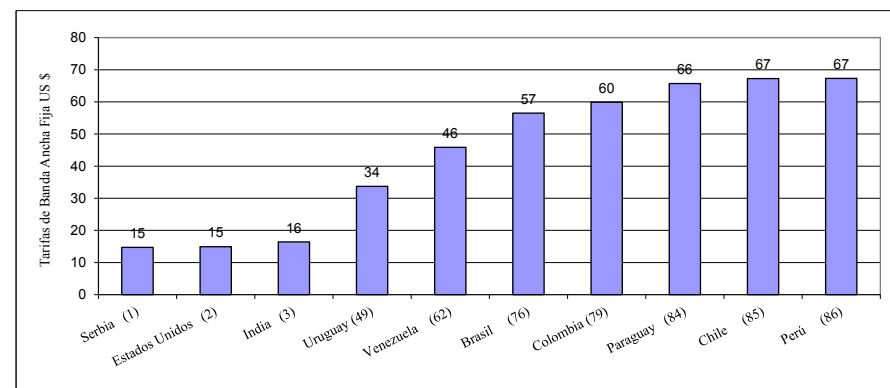


Figura 5. Tarifas de banda ancha fija en US \$. Fuente: <http://www.weforum.org>

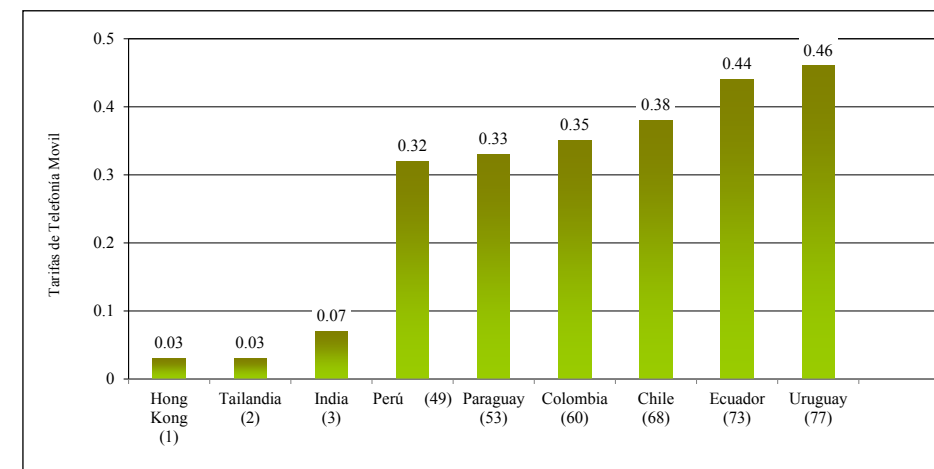


Figura 6. Tarifas de telefonía móvil (promedio por minuto). Fuente: <http://www.weforum.org>

2.2.2 Aptitud de las empresas

En este caso se consideran las variables: i) calidad local de instituciones de investigación y desarrollo; ii) gasto de las empresas en (I+D); y, iii) colaboración universidad-industria en (I+D).

Tal como se puede apreciar en la Figura 7, es poca la calidad local en instituciones de investigación y desarrollo que puedan ser demandados tanto por el sector público como por el sector privado. Por otro lado, las empresas no gastan en actividades de (I+D), probablemente porque muchas soluciones las obtienen de importaciones foráneas (Figura 8).

Otro aspecto importante es el mostrado en la Figura 9, no hemos logrado dinamizar todavía la relación Estado-Universidad-Industria. Justamente una

de las propuestas que se desarrollan más adelante con relación al Estratega de TIC, tienen que ver con este aspecto.

2.2.3 Aptitud del gobierno

En este caso se consideran las variables: i) prioridad de las TICs por el Estado; y, ii) importancia de las TICs en la visión de futuro del Estado. Tal como se puede apreciar en la Figuras 10 y 11, el Perú no muestra haber priorizado a las TICs, así como tampoco aparece como parte de su visión de futuro. Ello tiene relación directa con el estado actual de la Agenda Digital, y con la carencia de una visión más amplia de la trascendencia de las TICs en todos los sectores de la sociedad, lo cual tiene implicancias directas con la competitividad del país y la solución de problemas sociales concretos. Sin embargo, el crecimiento constante de la economía peruana en los últimos

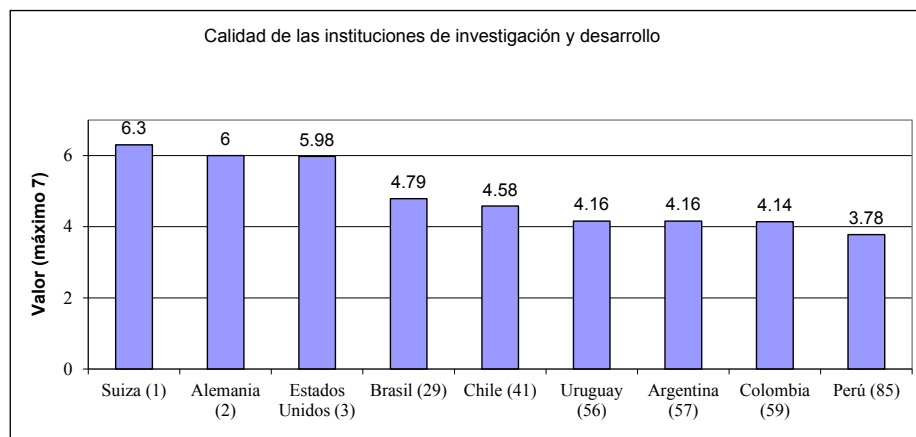


Figura 7. Calidad de las instituciones de investigación y desarrollo.

Fuente: <http://www.weforum.org>

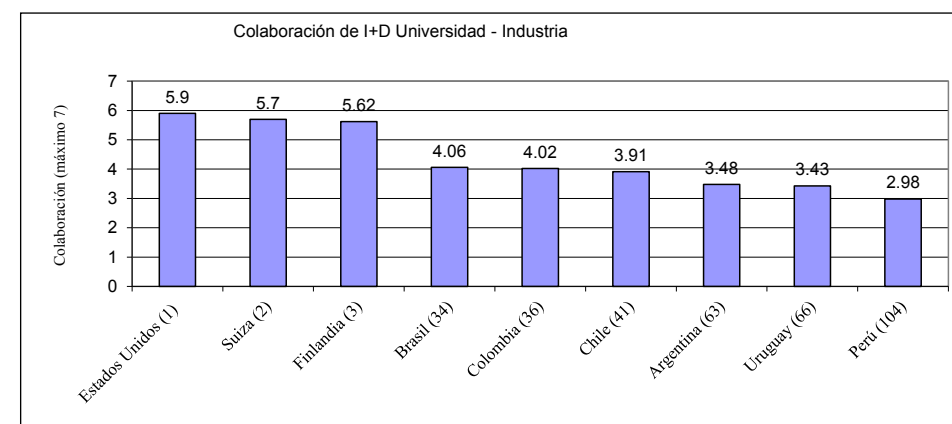


Figura 9. Colaboración Universidad-Industria en (I+D). Fuente: <http://www.weforum.org>

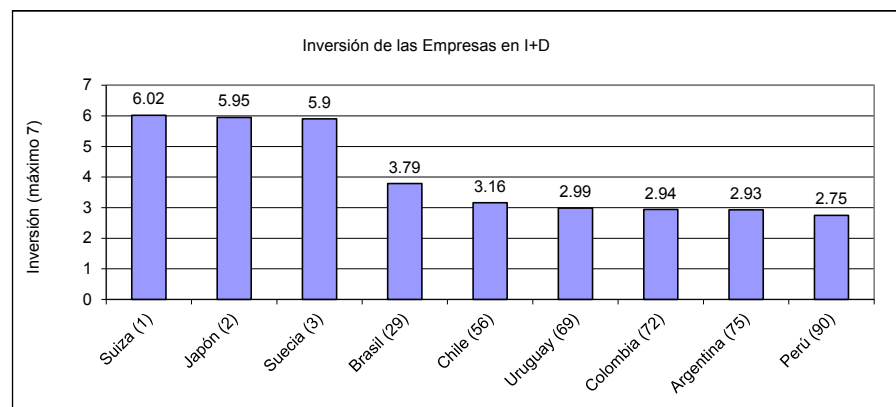


Figura 8. Gasto de las empresas en (I+D). Fuente: <http://www.weforum.org>

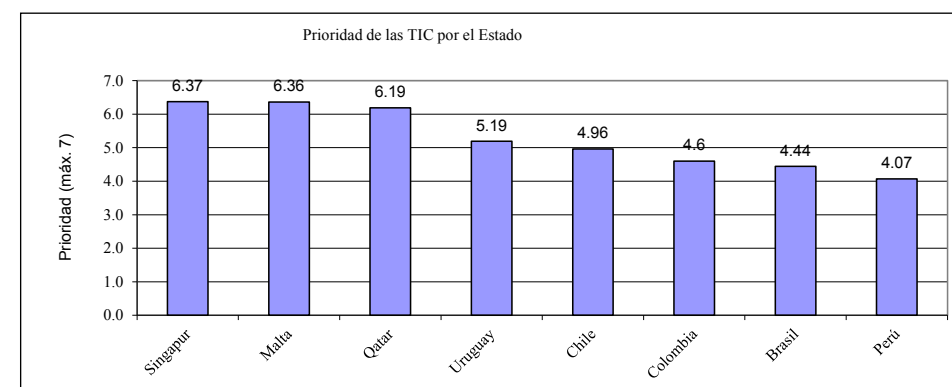


Figura 10. Prioridad de las TIC por el Estado. Fuente: <http://www.weforum.org>

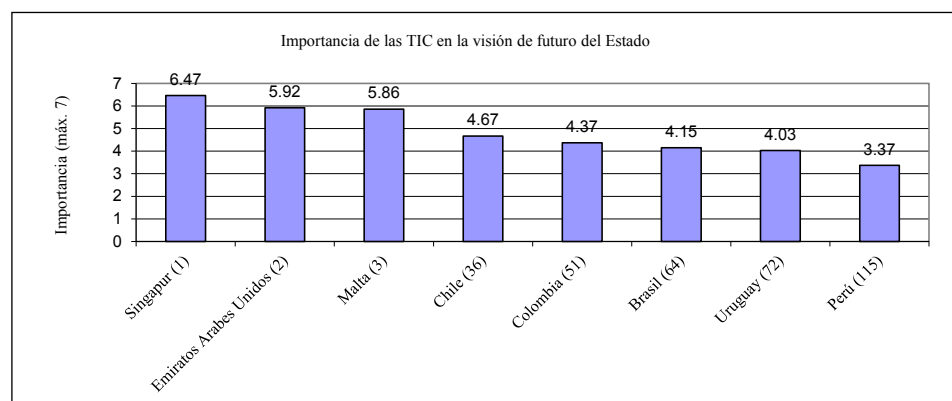


Figura 11. Importancia de las TIC en la visión de futuro del Estado.

Fuente: <http://www.weforum.org>

años, así como el notable desarrollo de las telecomunicaciones, en especial de los servicios móviles (84.3% de penetración a diciembre de 2009) y del Internet (más de 912,000 conexiones a diciembre de 2009), constituyen oportunidades para el desarrollo de las aplicaciones con TIC en cualquier sector de la sociedad, teniendo en cuenta que éstas tienen como condición la existencia de infraestructura de telecomunicaciones.

3. INICIATIVAS RELACIONADAS A LAS TICS

Es importante tener presente que se han llevado a cabo diversos esfuerzos e iniciativas a nivel de planes o programas, relacionados a las TICs y el desarrollo productivo y social, las TIC y el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación, las cuales se resumen a continuación:

3.1 Del sector público

3.1.1 El CONCYTEC

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC) ha elaborado el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica para el Desarrollo Productivo y Social Sostenible 2008-2012⁴, dentro del cual (estrategia 2.1) reconoce a las TIC, así como a las industrias de la información y el conocimiento como un área priorizada. Sin embargo, hasta este momento este plan todavía no es oficialmente aprobado.

3.1.2 La Oficina de Gobierno Electrónico (ONGEI)

La Agenda Digital Peruana, elaborada bajo la coordinación de la ONGEI, y aprobada en el 2005 tiene como tema de su Mesa 3, el Desarrollo y

Aplicación de TIC en Programas de Carácter Social⁵, siendo uno de sus alcances el desarrollo de la ciencia y tecnología. Este documento tiene como estrategia 3.5 el contribuir a promover la actividad científica a nivel nacional, y como estrategia 3.6, fomentar el uso, la investigación y el desarrollo de los recursos tecnológicos para el desarrollo de la Sociedad de la Información. En estos momentos se está elaborando una nueva versión de la Agenda Digital para ser implementada el próximo año.

3.1.3 El Consejo Nacional de la Competitividad

El Consejo Nacional de la Competitividad elaboró el Plan Nacional de Competitividad, disponible en el portal **Perú Compíte**⁶, y tiene como 5to objetivo la innovación tecnológica y empresarial, consistente en “*aumentar la aplicación del conocimiento para mejorar la competitividad de la producción usando las herramientas que provee la Ciencia, Tecnología e Innovación*”, a fin de lograr una mejor inserción en los mercados mundiales.

3.1.4 PRODUCE

En el Ministerio de la Producción, existe la Oficina Técnica de Centros de Innovación Tecnológica (CITE), que tiene entre otras, la función de diseñar la política de apoyo tecnológico para promover la innovación en el sector productivo y generar un ambiente propicio para las inversiones, fomentando alianzas estratégicas

con organizaciones tecnológicas dentro y fuera del país. Este aspecto es relevante en tanto se relaciona a la utilización de las TIC en el sector productivo, promoviendo además la investigación, desarrollo e innovación, y la transferencia tecnológica.

3.1.5 El INEI

En 2002, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) publicó el documento “Propuesta de Sistema Nacional de Investigación-Desarrollo-Innovación en Tecnologías de la Información”⁷.

3.2 Del sector privado

La Confederación Nacional de Instituciones Empresariales Privadas (CONFIEP)⁸ estableció el Comité de Política de Ciencia y Tecnología (COMPOLCYT) a fin de crear conciencia nacional sobre la importancia de aplicar el conocimiento y la innovación tecnológica en la producción de bienes y servicios, contribuyendo a fortalecer la alianza Estado - Universidad - Empresa.

3.3 Experiencias de países de la región.

A pesar de las iniciativas mencionadas, y conforme a los resultados previamente mostrados, resulta imperativo reformular las políticas sobre TIC teniendo como objetivo mejorar la competitividad y contribuir a la solución de problemas sociales, en la misma línea del Plan de Acción Regional del eLAC2010⁹.

⁵ <http://www.codesi.gob.pe/codesi/matriz.php>

⁶ <http://www.perucompite.gob.pe>

⁷ <http://www.ongei.gob.pe/estudios/publica/estudios/Lib5159/Libro.pdf>

⁸ http://www.confiep.org.pe/index.php?fp_verpub=true&idpub=774&fp_mnu_id=8

⁹ El eLAC es una estrategia regionalmente concertada que concibe a las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) como instrumentos de desarrollo económico e inclusión social, acorde con los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y la Cumbre Mundial de la Sociedad de la Información (CMSI).

⁴ <http://www.concytec.gob.pe/sinacyt/planteimedianoplazo.html>

En la tabla I se muestra un cuadro comparativo de algunos aspectos clave que forman parte de la experiencia de los países de la región sudamericana (Brasil, Chile, Colombia y Uruguay) que superan al Perú, según los indicadores del GTR mostrados en la sección 3. A partir de ello, se obtienen las siguientes conclusiones:

En todos los casos, la prioridad otorgada a las TIC es muy alta, así como también el liderazgo asumido por el primer mandatario, lo cual es muy importante, puesto que a partir de la voluntad política del presidente, es posible llegar a concretar de manera efectiva los objetivos, estrategias, metas y acciones. Ello se traduce en la posibilidad de presupuestar y financiar los diferentes proyectos que se definen en los programas o agendas digitales de cada país. En el caso del Perú, los últimos gobiernos no le han otorgado el más alto nivel de prioridad a las TIC, como si sucede por ejemplo con el tema del cuidado del medio ambiente.

Tanto Brasil, Chile y Colombia han asumido un rol promotor y facilitador de la inversión privada. A diferencia de éstos, en Uruguay el Estado continúa siendo prestador de servicios públicos de telecomunicaciones, aunque el Plan Cardales posibilita la participación del sector privado en banda ancha. En el caso de Brasil, el gobierno estaría evaluando la posible constitución de una empresa pública para la prestación de servicios de banda ancha. Si bien el Perú ha asumido el rol de promotor y facilitador de la inversión privada, el Estado no ha asumido el rol basado en el criterio de bien público, como si ha sido el caso de los países más desarrollados de Asia y Europa (Picot and Wernick, 2007).

Con relación al aspecto institucional, se puede apreciar que las instituciones que tienen a su cargo las agendas digitales o similares, son entidades especializadas en el tema de TIC, telecomunicaciones, ciencia y tecnología. Es decir, no son entidades que tienen a su cargo varios sectores sino únicamente uno de los antes mencionados. En el caso de Chile, el hecho de que el Ministerio de Economía tenga a su cargo la Estrategia Digital, implica el reconocimiento del importante papel de las TIC en el desarrollo económico del país. En el caso del Perú, los temas relacionados a telecomunicaciones y TIC están distribuidos en varias entidades, tales como el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), la Oficina Nacional de Gobierno Electrónico e Informática (ONGEI), y el Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones (INICTEL-UNI), el cual se adscribió a la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), sin haberse previamente adecuado su rol de acuerdo a las nuevas tendencias.

Los planes y estrategias existentes, son resultado de propuestas y aportes de diversos estamentos de la sociedad como son el sector público, el sector privado, la academia y la sociedad civil, y además forman parte de políticas de Estado, que trascienden a los gobiernos que asumen temporalmente la conducción de un país. En tal sentido, dichos planes y estrategias se han venido actualizando sobre la base de la experiencia obtenida, orientándose a la consecución de los objetivos nacionales. En el caso del Perú, la Agenda Digital Peruana vigente, se encuentra estática en cuanto a la ejecución de sus Planes, porque no se le ha otorgado la más alta prioridad que merece, encontrándose actualmente en elaboración una nueva versión.

Tabla 1. Aspectos clave en las experiencias de los países de la región.

	Brasil	Chile	Colombia	Uruguay
Prioridad y liderazgo acerca de las TIC	La más alta prioridad del Gobierno, liderazgo presidencial (ITU LULA 2009)	La más alta prioridad del Gobierno, liderazgo presidencial (MEFT BACHELET 2009)	La más alta prioridad del Gobierno, liderazgo presidencial (MINTIC URIBE 2007)	La más alta prioridad del Gobierno, (IADB 2009) liderazgo presidencial
Rol del Estado	Rol promotor y facilitador de la inversión privada; sin embargo, el Gobierno estaría evaluando la posibilidad de constituir una empresa pública para banda ancha (INFOLATAM 2009).	Rol promotor y facilitador de la inversión privada	Rol promotor y facilitador de la inversión privada	El Estado opera de acuerdo a Ley y tiene el monopolio del servicio de telefonía fija; en el caso de banda ancha el Plan Cardales, permite la participación de empresas privadas (LATU 2008)
Instituciones responsables	Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT), Ministerio de Comunicaciones (MC)	Ministerio de Economía (MEFT 2008)	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MINTIC)	Agencia para el Desarrollo del Gobierno de Gestión Electrónica y la Sociedad de la Información y del Conocimiento (AGESIC)
Planes y estrategias de TIC	Programa Sociedad de la Información, Libros Verde y Libro Blanco (2001) (MCT 2001)	Estrategia Digital Chile 2007-2012, Plan Estratégico Nacional de Tecnologías de Información y Comunicación (2007) (MEFT 2007)	Plan Nacional de Tecnologías de la Información y Comunicaciones 2008-2019 (2008) (MC 2008)	Agenda Digital Uruguay (2008-2010) (AGESIC 2008)
Presupuestos asignados	El Programa Sociedad de la Información contó con R. \$ 3,400 millones (reales) (aprox. US\$ 147 millones) para 2002-2003	La Estrategia digital estableció metodología para efectivizar iniciativas, incluyendo los recursos económicos	Las metas del PNTIC tienen presupuesto y fuente de financiamiento, \$ 680 millones (pesos) para 2008-2010	Se presupuesta proyectos del Programa Calidad de Atención a la Ciudadanía mediante TIC (AGESIC 2008) y Gobierno Electrónico (AGESIC 2009)

Se han establecido metodologías, presupuestado y financiado los proyectos que forman parte de las respectivas agendas digitales. Ello hace posible que tales proyectos lleguen a concretarse, porque al contarse con el respaldo político, se facilita que las instancias responsables sigan los procedimientos respectivos en los plazos previstos. En el caso de la Agenda Digital Peruana, al no contar con el máximo nivel de prioridad, tampoco ha podido presupuestar y financiar muchos proyectos incluidos en sus planes.

De lo expuesto previamente, resulta claro que se deben adoptar acciones concretas para revertir la situación actual, a fin de aprovechar al máximo los beneficios y oportunidades de las TICs. En la siguiente sección se presentan algunas propuestas.

4. PROPUESTAS DE ACCIONES CONCRETAS PARA DAR EL SALTO

4.1 Sensibilizar y convencer al más alto nivel sobre la importancia de las TIC

Tal como antes se vio, en los países de la región que nos llevan la delantera en TICs (Chile, Brasil, Colombia y Uruguay), los líderes políticos las han tenido priorizadas en sus programas de gobierno hace más de 10 años, y la han posicionado estratégicamente como política de Estado, dándoles continuidad. En el Perú, el próximo cambio de gobierno podría significar una excelente oportunidad para sensibilizar y convencer a los líderes acerca de la trascendencia de una política de Estado en relación a las TIC. Por otro lado, el hecho de que los temas de ciencia y tecnología, de la (I+D+i), y de las TIC, están fuertemente asociados

a la competitividad, parecería implicar que nos encontramos en un proceso irreversible tendiente hacia la definición de políticas sobre dichos temas, a fin de que no se conviertan en anclas que eventualmente frenen el desarrollo socio económico del país.

Replantear el orden institucional: Crear el cargo de Estratega de las TICs.

Se considera muy importante institucionalizar el cargo de un Estratega de TIC para todas las entidades del Estado. Los principales roles de dicho Estratega (denominado GCIO, Government Chief Information Officer, en las economías de APEC) serían: 1) el impulso del gobierno electrónico; y, 2) la innovación con TIC. En la Figura 15, se ilustra el concepto del trabajo que realizaría.

Tal como se muestra, sobre la base del conocimiento de la problemática de cada sector a través de un diagnóstico, el Estratega de TIC se encargaría de convocar a la academia y al sector privado para buscar soluciones con TIC. Ello motivaría a que se lleve a cabo investigación aplicada e innovación para solucionar problemas concretos de gran impacto en la sociedad y en la competitividad. Los desarrollos hechos en la universidad en base a este concepto, pueden conseguir más fácilmente clientes de los sectores público y privado (hay experiencias en algunas universidades privadas locales). Sin embargo, lo anterior no basta, ya que ello tiene que ir acompañado de un cambio de paradigma en las universidades para que las actividades de (I+D+i), formen parte de sus planes de negocios, teniendo en cuenta que tales actividades no se pueden asumir



Figura 15. El Estratega de las TIC.

de forma seria solamente con profesores a tiempo parcial.

Vale la pena mencionar que en las economías de APEC, y en países de Europa, por lo general el GCIO tiene el rol de impulsar únicamente el gobierno electrónico. Sin embargo, como se ha señalado antes, la propuesta del Estratega de TIC para el Perú va más allá de eso, en función de sus propias necesidades, y abarca el impulso del gobierno electrónico, así como innovación utilizando TIC, aplicada a cada sector. Crear el mencionado cargo, significa desarrollar una capacidad para aprovechar de manera efectiva las oportunidades de la cooperación internacional de foros como APEC, en donde se vienen desarrollando proyectos en torno al GCIO, incluyendo su capacitación.

Para implementar de manera práctica la propuesta debe hacerse lo siguiente:

- Potenciar las Oficinas de Tecnologías de Información o similares, elevando su rango jerárquico, para depender del Secretario General o del Vice ministro, en cada sector.
- Definir roles del GCIO: impulso del gobierno electrónico, innovación con TIC.

- Definir el perfil (un especialista de las TIC) del GCIO. Lo anterior implica: Modificar el Reglamento de Organización y Funciones (ROF) y Modificar el Manual de Organización y Funciones (MOF).
- Elaborar e implementar un Plan de Acción de TIC o Agenda Digital, de manera concertada entre todos los sectores.

4.2 Recuperar nuestro conocimiento

En el presente caso la propuesta consiste en realizar un inventario y recuperación de trabajos de investigación, tesis universitarias, que empleando TIC, tengan gran impacto social y en la competitividad, por sectores. En forma similar, llevar a cabo un inventario y recuperación del talento nacional, de las universidades privadas y públicas, incluyendo a aquellos que fueron a perfeccionarse al exterior, con perfil de investigadores.

4.3 Presupuestar, financiar e invertir

Las Agendas Digitales de los países más desarrollados a nivel mundial previeron metodologías para concretar las necesidades de recursos de los proyectos, incluyendo los de tipo

económico. En el caso del Perú, resulta imperativo que una actualización de la Agenda Digital Peruana, establezca algo similar, asumiendo que el entorno es tal que se cuenta con total respaldo del más alto nivel del Gobierno y del propio Presidente de la República.

4.4 Trascender con proyectos de TIC de carácter internacional

Existen grandes oportunidades de cooperación internacional que tenemos que saber aprovechar, siempre que se tenga claramente definido el logro que se pretende. Se requiere además desarrollar ciertas capacidades (capacity building) para poder acceder a dichas oportunidades. En el caso del Estratega de TIC, existe la posibilidad de acceder a las ofertas de capacitación, una vez creado el cargo propuesto (lo que implica haber desarrollado la capacidad requerida para poder recibir la capacitación). Una vez ubicados en el ámbito del foro APEC, consideramos que el intercambio de experiencias con economías con similar nivel de desarrollo puede ser muy importante, incluso para exportar soluciones.

5. EL MEGA PROYECTO EN TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN: INFORMÁTICA EN BIOMEDICINA

La investigación y desarrollo en Informática Biomédica tiene alto potencial y es de crítica y necesaria aplicación en nuestra sociedad (Wooley and Lin, 2005; Curioso, Segovia-Juarez, y Rubio, 2007). Las TICs son

indispensables para descubrimientos biomédicos futuros y la conducción de los avances en el cuidado de la salud. Los científicos y gestores de salud concuerdan en la necesidad de explotar mejor las sinergias de la integración que aumenta entre la computación y la biomedicina, de ese modo los investigadores de ciencias de la computación encuentran desafíos que impulsan la investigación y la innovación en biomedicina.

Para conseguir esta sinergia, se deben superar algunas dificultades, entre las cuales podemos mencionar:

- Leyes gubernamentales y estructuras universitarias obsoletas, que deben ser cambiados y mejorados, mediante la promoción de recursos humanos de alto nivel.
- Rigidez en la curricula, que se puede resolver con un mayor número de cursos interdisciplinarios, a nivel nacional e internacional.
- Relativamente bajo número de proyectos en ejecución, que debe resolverse incrementando los fondos para la investigación y desarrollo en proyectos.

Un conjunto diverso de conocimiento y tecnologías computacionales pueden beneficiar a la biomedicina y a los profesionales de la salud. No se puede negar que los programas actuales son claramente inadecuados (NIH Biomedical Information Science and Technology Initiative, 1999). Para conseguir esos beneficios es importante que las entidades gubernamentales realicen una inversión significativa para la integración de la investigación computacional con la biomedicina.

Las tecnologías computacionales para biomedicina pueden ser divididas en tres principales grupos:

- A) Algoritmos y herramientas para el análisis y gestión de datos; y
- B) Infraestructura de software; y
- C) Infraestructura de hardware y redes de alta velocidad.

5.1 Algoritmos y herramientas para el análisis y gestión de datos

Dado el continuo incremento de la cantidad de información con la cual tienen que lidiar los científicos y médicos, el análisis y gestión de datos seguirá siendo siempre importante. En el marco del megaproyecto se pueden realizar las siguientes actividades:

Identificar y evaluar modelos y herramientas existentes. Existen un gran número de algoritmos y software que son totalmente desconocidos por la comunidad biomédica local, por lo que es necesario identificar, evaluar, inventariar y utilizar tales herramientas.

Representación y gestión de información. En esta área se tiene avances para la representación común en bases de datos de imágenes y bases de datos genómicas. Pero es necesario, contar con acuerdos sobre la representación de información para otros datos, y las correspondientes herramientas para soportar tales representaciones.

Informática médica. Es necesario organizar y gestionar la información de los registros de pacientes, las Historias Clínicas Electrónicas (HCE), incluyendo los más sofisticados análisis clínicos, para ser utilizados,

mediante la construcción de sistemas inteligentes, como apoyo en el diagnóstico médico. La informática médica tradicional aún no incorpora el potencial de las tecnologías de la información avanzadas, por lo que, mediante el desarrollo de ideas innovadoras en informática y buenas prácticas, se requieren construir repositorios de información multiescala y multimodal que impulsen la gestión de la información para la salud.

Visualización científica. Existe una variedad de herramientas y técnicas de visualización que pueden beneficiar a los científicos en biomedicina, ingenieros y médicos (Johnson et al, 2006). Adicionalmente, nuevas herramientas de visualización deben ser creadas por investigadores biomédicos, en colaboración directa con investigadores en visión computacional.

Modelamiento de información y análisis de imágenes. Existe una necesidad de incorporar algoritmos y software para el modelamiento de información y análisis de imágenes, incluyendo herramientas para la búsqueda de imágenes, detección de patrones, comparación de datos e imágenes, manejo de datos a gran escala, multi-escala, y potencialmente de información multi-dimensional, considerando los aspectos de ruido inherente en la validación y normalización de estos grandes conjuntos de datos.

Algoritmos de clasificación, análisis y optimización. Es necesario entender la complejidad computacional de los problemas biomédicos, y seleccionar

los algoritmos adecuados para los problemas propuestos.

5.2 Infraestructura de software

Existe una significativa necesidad para soportar tanto la creación de nuevas herramientas de software, así como proporcionar el soporte necesario para su desarrollo. Los siguientes son algunos proyectos en relación al software:

Software de Base. El software de base para el desarrollo de informática biomédica es actualmente inadecuado, por lo que deben ser diseñadas y construidas. Adicionalmente, el desarrollo y soporte de software requiere de una mayor inversión en infraestructura para maximizar la investigación.

Ciencia Abierta. La infraestructura requiere a la Ciencia Abierta (Open Science), que consiste en software, modelos y datos abiertos, así como el establecimiento de repositorios de software y de datos.

Software colaborativo. Se requieren desarrollar e implementar software para el desarrollo de actividades y resolución de problemas utilizando soluciones colaborativas entre varios usuarios y los sistemas informáticos, aplicado a una amplia variedad de áreas. Se requiere gestionar adecuadamente la información de grupos de trabajo, computación en grid, bases de conocimientos, entre otros esquemas.

Ambientes de software integrado. Se requiere desarrollar componentes modulares, workflows, software de fácil uso, ambientes de software escalable, etc.

Computación asistida para cirugías.

En este punto, el apoyo de los sistemas de decisión inteligentes, con el apoyo de sistemas desarrollados con tecnologías apropiadas de interacción hombre-computadora, facilitarán y mejorarán la planificación quirúrgica, su ejecución y tratamiento.

Informática médica y leyes de privacidad. Evaluar los desafíos en contexto específico de medicina clínica y la digitalización de historias clínicas para el análisis e investigación de la información, en aspectos relacionados a la regulación y seguridad de la información.

5.3 Infraestructura de hardware y redes de alta velocidad

Un Centro de Computación de Alta Velocidad.

Los requerimientos para el análisis de datos, procesamiento de imágenes, búsqueda de patrones, modelamiento de componentes biológicos (moléculas, células, y tejidos), entre otras muchas aplicaciones requieren de alto poder de procesamiento computacional. Para ello se debe instalar, un Centro de Computación de Alta Velocidad, que contará con la computadora de mayor velocidad de procesamiento del país, con el personal especializado y que sea conectado mediante redes de alta velocidad, con otros centros de investigación, de manera que intenten resolver problemas de alta complejidad.

La Red Dorsal de Fibra Óptica.

Una condición esencial para el desarrollo de este megaproyecto, así como del desarrollo del país, es la construcción de una red dorsal de fibra óptica que en etapas, llegue a las capitales de provincias y los distritos de

la mayor parte del país, permitiendo el acceso de internet de alta velocidad a bajo costo.

En el caso de la selva, se acepta generalmente que no quedaría otra que la tecnología satelital, aunque dicha solución es costosa. Una alternativa posible es el despliegue de fibra óptica a través de los ríos¹⁰, pero habría que investigar su implementación de acuerdo a las características propias de nuestros ríos amazónicos.

6. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado un análisis situacional de las Tecnologías de Información y Comunicación en el país, mostrando que el Perú se encuentra muy rezagado en el plano latinoamericano.

Se está planteando acciones concretas para mejorar la situación de las TICs en el país, incluyendo el incremento de recursos humanos calificados para la investigación, la promoción de la Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i), y el impulso del Gobierno Electrónico, entre otras.

Se plantea el megaproyecto de TICs en Bio-medicina que impulse un sector de contenido social, muy promisorio en productos y servicios de alta tecnología.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Botstein, D. et al. 1999. NIH Biomedical Information Science and Technology Initiative (BISTI), by the Biomedical Computing Advisory Committee to

the Director. (http://www.bisti.nih.gov/June_1999_Report.cfm).

Curioso, WH., Segovia-Juarez, J., y Rubio, C. Situación de la Informática Biomédica en el Perú. *Informática y Salud*, No. 64, pp 22-29, Octubre 2007.

Deer, D.A. 2005. Computational Science: Ensuring America's Competitiveness. President's Information Technology Advisory Committee (PITAC), Subcommittee on Computational Science. (<http://www.nitrd.gov>), June 2005.

Johnson, R., et al. 2006. NIH-NSF Visualization Research Challenges Report; IEEE Press.

NIH BECON/BISTIC Symposium: "Biomedical Informatics for Clinical Decision Support: A Vision for the 21st Century", June 21-22, 2004, http://www.bisti.nih.gov/becon2004_final_report.doc.

NIH Knowledge Environments for Biomedical Research (KEBR) Conference, December 11-12, 2006, www.esi-bethesda.com/ncrrworkshops/kebr/index.asp

Picot, A., and Wernick, C. 2007. The role of government in broadband access. *Telecommunications Policy*, 31(10-11), 660-674.

Schwab K. (Editor). 2010. The Global Competitiveness Report 2010-2011, World Economic Forum. Geneva.

Wooley, J. and Lin, H. 2005. Catalyzing Inquiry at the Interface between Computing and Biology, National Academy Press, Washington, D.C.

¹⁰ <http://www.ongei.gob.pe/estudios/publica/estudios/Lib5159/Libro.pdf>

SIMPOSIO

Identificación de megaproyectos de investigación para la competitividad

Auditorio del Centro Cultural Ccori Wasi de la
Universidad Ricardo Palma (Av. Arequipa 5198, Miraflores)

24 y 25 noviembre de 2010, 08.30 a 18.00 horas

PROGRAMA

Miércoles 24 de noviembre del 2010

- 8.00 – 8.30 Inscripciones
8.30 – 8.45 Inauguración del Simposio, Augusto Mellado Mendez, Presidente del CONCYTEC.
8:45 – 9.30 Tendencias mundiales al 2020, Ing. Fernando Ortega San Martín, CONCYTEC.

Sesión 1: Megaproyecto en Nanotecnología

Moderador: Dr. Pablo Huerta, CONCYTEC

- 9.00 – 10.00 Conferencia: Dr. Abel Gutarra, Universidad Nacional de Ingeniería
10.00 – 10.15 Intermedio
10.15 – 12.30 Panel de discusión

Panelistas:

- * Dr. Juvenal Castromonte, UPCH
- * Dr. Renato Mario Benazic Tomé, UNMSM
- * Dr. José Luis Solis Veliz, IPEN
- * Dr. Iván Tupac, UCSP
- * Daniel Guerra Giraldez, Ph.D., UPCH

Sesión 2: Megaproyecto en Biotecnología

Moderador: Dr. Juan Tarazona, CONCYTEC

- 14.30 – 15.45 Conferencia: Dr. Marcel Gutiérrez-Correa, Universidad Nacional Agraria La Molina
15.45 – 16.00 Intermedio
16.00 – 18.00 Panel de discusión

Panelistas:

- * Dr. Cesar Beltrán Castañón, UNSA
- * Luis DeStefano, Ph.D., UPCH
- * Dr. Absalón Lorgio Verdi Olivares, IIAP
- * Dra. Gretty K. Villena, UNALM
- * Dr. Gustavo Gonzales, UPCH

Día: Jueves 25 de noviembre del 2010

Sesión 3: Megaproyecto en Energía

Moderador: Dr. Julio Canales, CONCYTEC

8.30 – 9.30 Conferencia: Dr. Agustín Zuñiga, Instituto Peruano de Energía Nuclear

9.30 – 9.45 Intermedio

9.45 – 12.30 Panel de discusión

Panelistas:

- * Alberto Gago Medina, Ph.D., PUCP
- * Mario Esparza Mantilla, Ph.D., Universidad de Antofagasta.
- * Dr. Wilfredo Sosa, IMCA
- * Johnny Nahui Ortiz, Ph.D., UNI
- * Dr. Daniel Marcelo, UDEP

Sesión 4: Megaproyecto en Tecnologías de la Información y Comunicación

Moderador: José Segovia-Juárez, Ph.D., CONCYTEC

14.15 – 15.15 Conferencia: Carlos Valdez Velasquez-Lopez, Ph.D., Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

15.15 – 16.45 Panel de discusión

Panelistas:

- * Dr. Javier Solano, UNI
- * Mirko Zimic, Ph.D., UPCH
- * Dr. William Ipanaque Alama, UDEP
- * Dr. Walter Curioso, UPCH.

17.00 – 17.30 Conclusiones, José Segovia-Juárez, Ph.D., CONCYTEC.

17.30 – 17.45 Clausura, Dr. Augusto Mellado Méndez, Presidente del CONCYTEC