

Edita:



PERÚ

Ministerio de Educación

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica

SOLUCIONES PRÁCTICAS
I T D G

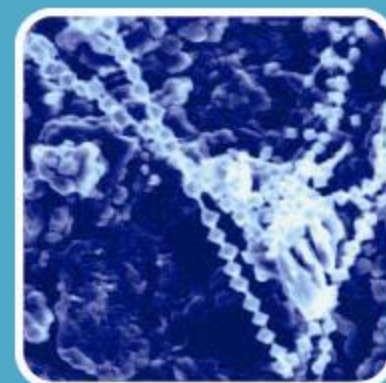
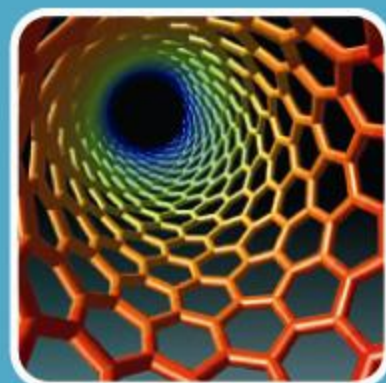
Tecnologías desafiando la pobreza



Nanotecnología

de agua y saneamiento

Perú: Memorias del seminario y taller



Soluciones Prácticas es un organismo de cooperación técnica internacional que contribuye al desarrollo sostenible de la población de menores recursos mediante la investigación, aplicación y diseminación de tecnologías apropiadas. Tiene oficinas en África, Asia, Europa y América Latina. La oficina regional para América Latina tiene sede en Lima, Perú y trabaja a través de sus programas de Sistemas de producción y acceso a mercados; Energía, infraestructura y servicios básico; Prevención de desastres y gobernabilidad local y las áreas de Control de calidad, Administración y Comunicaciones.

Edita:



PERÚ

Ministerio
de Educación

Consejo Nacional de Ciencia,
Tecnología e Innovación
Tecnológica

SOLUCIONES PRÁCTICAS
I T D G

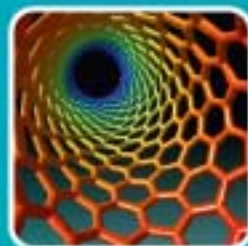
Tecnologías desafiando la pobreza

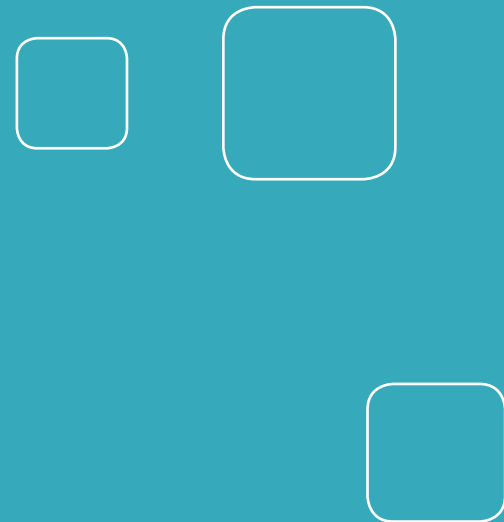
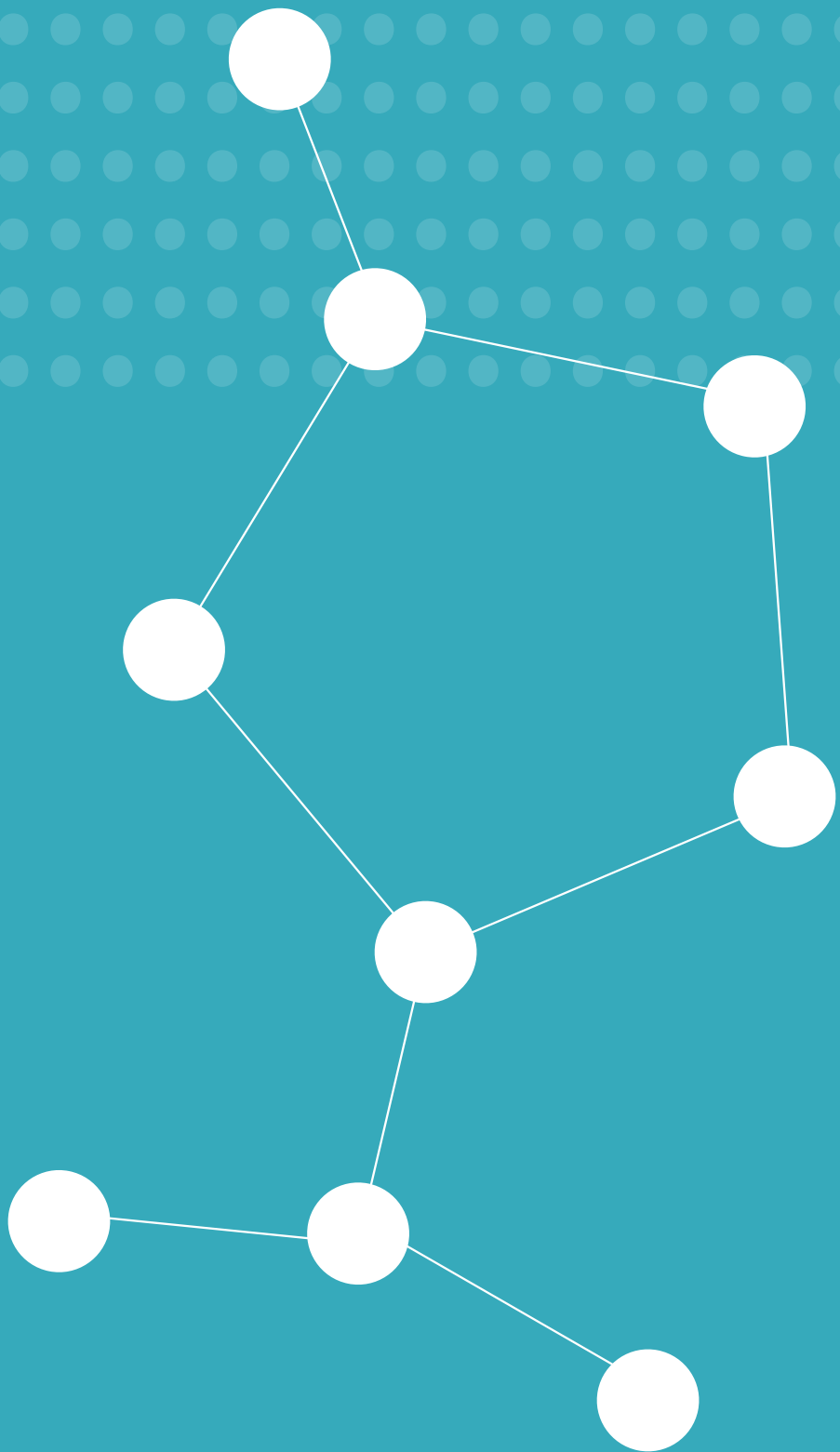


Nanotecnología

de agua y saneamiento

Perú: Memorias del seminario y taller





Nanotecnología

de agua y saneamiento

Perú: Memorias del seminario y taller



Edita:



SOLUCIONES PRÁCTICAS
ITDG



Tecnologías desafiando la pobreza

NANOTECNOLOGÍA DE AGUA Y SANEAMIENTO

Perú: Memorias del seminario y taller

Editora: Rocío Mellado

rmellado@solucionespracticas.org.pe

Primera edición: Abril de 2010

ISBN: 978-9972-50-XXXX

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2010-01305

Copyright : Soluciones Prácticas y CONCYTEC en la presente edición

Tiraje: 1 000 ejemplares

© Soluciones Prácticas

Razón social: Intermediate Technology Development Group, ITDG

Av. Jorge Chávez 275, Miraflores. Casilla Postal 18-0620, Lima 18, Perú

(511) 444-7055, 242-9714, 447-5127, Fax (511) 446-6621

info@solucionespracticas.org.pe

www.soucionespracticas.org

Subvención CONCYTEC N° 290-2009-CONCYTEC-OAJ

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

Presidente: Dr. Augusto Mellado Méndez

Av. Del Aire 485, San Borja (Lima, Perú)

Telefax: (511) 225-1150

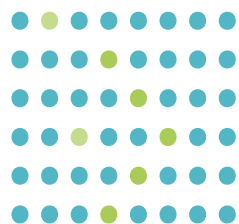
www.concytec.gob.pe

Producido por el Área de Comunicaciones de Soluciones Prácticas

Impreso por: Kinko's impresores SAC (Av. Venezuela 2344, Cercado - RUC: 20502903951)

Derechos Reservados. Prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación por cualquier sistema conocido sin la autorización escrita de los editores, en la presente edición.

Índice



7	1. Introducción (Rocío Mellado)
9	2. How Can New Technologies Fulfill the Needs of Developing Countries? (David Grimshaw)
9	2.1. New Science-Led Technologies and Developing Countries
9	2.2. How can New Science-Led Technologies Deliver Public Value?
10	2.3. Nano-dialogues in Zimbabwe
11	2.4. Spring Water (Epworth, Zimbabwe)
15	2.5. Nano-dialogues in Peru
16	2.6. Balancing Risk and Opportunity
16	2.7. Future Directions
17	3. Nanotechnology and Water Applications: A Brief Assessment of Opportunities and Risks (David Grimshaw)
17	3.1. Characteristics of Nanotechnology
18	3.2. Issues of Risk and Opportunity
19	3.3. Implications for Investment
20	3.4. Applications in the Water Sector
21	3.5. Conclusion
23	4. Políticas públicas para el desarrollo y utilización de la nanotecnología (Carlos Aguirre-Bastos)
23	4.1. Introducción
24	4.2. Convergencia y nanotecnología
24	4.3. Nanotecnología: desarrollo y potencial
25	4.4. Nanotecnología y sus aplicaciones en países en desarrollo
26	4.5. El riesgo en nanotecnología
27	4.6. Plataformas para involucrar a grupos de interés
30	4.7. La situación de la nanotecnología en los países andinos
32	4.8. Conclusiones
35	5. Situación de la nanotecnología en el Perú (Abel Gutarra)
35	5.1. Introducción
36	5.2. Principales actores de la nanotecnología en el Perú
36	5.3. Principales actores de la nanotecnología en agua y saneamiento a nivel América Latina
65	5.4. Conclusiones
69	5.5. Temas de discusión
73	6. Bibliografía
77	7. Anexos
77	7.1. Anexo 1: ¿Cómo pueden las nuevas tecnologías satisfacer las necesidades de los países en desarrollo? (David Grimshaw)
77	7.1.1. Las nuevas tecnologías científicas y países en desarrollo
78	7.1.2. ¿Cómo pueden las nuevas tecnologías de la ciencia dar un valor público?
79	7.1.3. Nanodiálogos en Zimbabwe
80	7.1.4. Agua de manantial (Epworth, Zimbabwe)

84	7.1.5. Nanodiálogos en Perú
85	7.1.6. Sopesando el riesgo y la oportunidad
85	7.1.7. Direcciones futuras
87	7.2. Anexo 2: La nanotecnología y sus aplicaciones en el agua. Una breve evaluación de los riesgos y oportunidades (David Grimshaw)
87	7.2.1. Características de la nanotecnología
88	7.2.2. Riesgos y oportunidades
89	7.2.3. Implicaciones para inversores
90	7.2.4. Aplicaciones en el sector agua
91	7.2.5. Conclusión

Índice de gráficos

11	Figure 1. Scene from Epworth
79	Figura 1. Escena de Epworth
12	Figure 2. Soft Systems Methodology: Overview
81	Figura 2. Metodología de sistemas blandos
12	Figure 3. Capturing the Problem Situation
81	Figura 3. Comprensión de la situación del problema
13	Figure 4. Problem Situation
82	Figura 4. Situación del problema
14	Figure 5. Sub-systems
83	Figura 5. Subsistemas
14	Figure 6. Conceptual Model
83	Figura 6. Modelo conceptual
70	Figure 7. Esquema de solución de problemas
26	Tabla 1. Avances y aplicaciones más significativas de la nanotecnología para los países andinos
28	Tabla 2. Problemas de riesgos simples
28	Tabla 3. Problemas de riesgos complejos asociados con componentes
29	Tabla 4. Problemas de riesgos debidos a cuestiones irresueltas de elevada incertidumbre
29	Tabla 5. Problemas de riesgos relacionados a la elevada ambigüedad social debido a desarrollos futuros desconocidos y diferencias en juicios de valor
66	Tabla 6. Grupos de investigación según tipo de proyectos
67	Tabla 7. Investigadores identificados
68	Tabla 8. Equipamiento disponible

1. Introducción

Para el mundo no científico, la palabra nanotecnología nos habla de un tipo de tecnología distinta; si hacemos memoria, recordaremos el prefijo nano que tiene que ver con el tamaño en la escala del sistema internacional de medidas, recordaremos que los prefijos mili y micro están antes de nano, y ambos se relacionan a una magnitud muy pequeña. Un nanómetro es la millonésima parte de un milímetro. La nanotecnología, en su definición más general, es la manipulación controlada de átomos o moléculas para crear materiales y dispositivos muy pequeños, a una escala nanométrica. Estos dispositivos tienen propiedades distintas y un mejor rendimiento que los materiales elaborados tradicionalmente.

Actualmente la nanotecnología se usa para la elaboración de muchos materiales y dispositivos que usamos sin saberlo. Se usa, por ejemplo, para producir pequeñas baterías con una mayor capacidad de almacenamiento de energía y por periodos más largos; en equipos de deporte livianos pero de gran resistencia; protectores solares con una mejor protección.

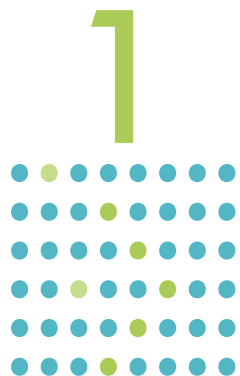
Un aspecto que no nos hemos detenido a pensar es si esta nueva tecnología podría crear una nueva brecha que divida a pobres y ricos. Tendríamos que preguntarnos lo siguiente: ¿cuánto de este conocimiento beneficia a las personas más pobres?

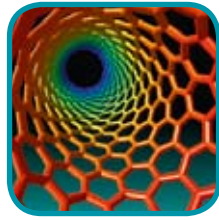
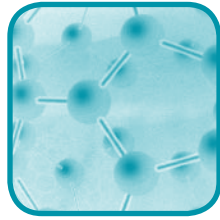
Sabemos que existe una gran demanda de estos nuevos materiales, pero ¿cómo puede el desarrollo de la nanotecnología beneficiar a los más pobres? Este libro intenta responder esta pregunta, presentando una mirada de expertos en el tema y desarrolladores de tecnologías sobre el potencial que tiene la nanotecnología para su aplicación en beneficio de los más pobres, permitiendo reducir la brecha de la pobreza.

La nanotecnología en el Perú tiene un lugar en la comunidad científica desde hace ya varios años, especialmente en espacios científicos y académicos promovidos por entidades de investigación y universidades. En noviembre de 2007, **Soluciones Prácticas** (antes ITDG) inició un proceso de apertura a esta tecnología definido por la celebración de un seminario dirigido a una amplia audiencia (comunidad científica, actores principalmente del sector agua y saneamiento, financieras internacionales, instituciones de cooperación técnica, ONG y entidades del gobierno en el país). El seminario buscó presentar una mirada sobre el tema de la nanotecnología, así como de sus posibles aplicaciones en el sector de agua y saneamiento, para lo que se presentaron conceptos, estudios y experiencias, así como el avance de políticas a nivel de los países en América Latina que promueven y regulan la aplicación de la nanotecnología en un contexto de desarrollo. Adicionalmente, en abril de 2008, se realizó un taller con un número más reducido de participantes (comunidad científica, entidades del gobierno y ONG) donde se analizaron los problemas más relevantes del sector de agua y saneamiento, y se plantearon alternativas que consideraran el uso de nanotecnología.

La presente publicación desarrolla un estudio del estado de la cuestión de la nanotecnología en el Perú, recopilando información de los eventos mencionados como un primer paso de avance hacia el conocimiento y aprovechamiento de la nanotecnología en nuestro país, teniendo en cuenta que su aplicación debe ir de la mano con la investigación para la conservación de la salud de las personas y la protección del medio ambiente.

Rocío Mellado
Soluciones Prácticas





2. How Can New Technologies Fulfill the Needs of Developing Countries?

David Grimshaw

Abstract

In an effort to engage citizens in upstream dialogues a number of experiments in public engagement with science took place during 2005 and 2006. This chapter discusses those engagements, with a particular focus on the findings of a nanodialogue held in Zimbabwe during July 2006 involving scientists and representatives of two communities that experience real problems with the supply of clean drinking water. Further dialogues have been held in Lima, Peru, in November 2007 and April 2008 building on the earlier experience in an effort to move from dialogue to the engagement of science with development.

2.1. New Science-Led Technologies and Developing Countries

We live in a rapidly changing world. Technological advances are increasing productivity and income, quality of life and life expectancy... in the developed world, that is. The truth is that technological development is focused on meeting the wants of rich consumers. Scant attention is paid to the vital *needs* of people in the developing world. Each new technology that comes along tends to result in a wider gap between the rich and the poor in the world. Yet some innovations fail to be applied in developing countries where there is the need. The founder of **Practical Action** observed that: «new technologies are developed only when people of power and wealth back the development» (Schumacher, 1979).

Porritt (2006) has argued that to enable sustainable development we need to work with the market system and not against it. This means understanding the market mechanisms, understanding the innovation processes, and then working with the key stakeholders to enable business models that will deliver on human need rather than on consumer wants. With existing technologies this becomes a challenge because the business models, including the supply chain logistics are already well established. In the case of new technologies there is a window of opportunity before products are released into the market to negotiate new business models.

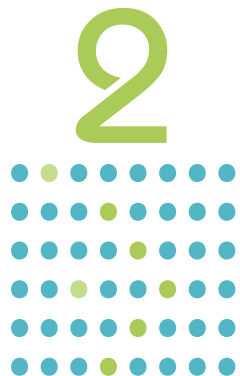
In a global economy, many topical issues -for example sustainable development, climate change, and democracy- are all influenced by the role of science and technology in society. A major challenge is to release public value from science and technology and to channel that public value into developing countries to help reduce poverty (Wilsdon *et al.*, 2005). The concept of public value used here refers to value generated by science and technology that is not solely reaped by the market. The central topic of releasing public value from science in a global context is one of the most significant and challenging issues facing societies throughout the world today.

The challenge faced might be re-framed as being one of how do we enable new science-led technologies to deliver products which fulfil human needs rather than consumer wants?

2.2. How can New Science-Led Technologies Deliver Public Value?

The role of technology in development is perhaps even more important in the new century than it was in the last. In the era of globalisation, new technologies are rapidly reshaping the livelihoods and lifestyles of people throughout the world. The pace of technological change is increasing, and is beyond the capacity of society to understand and regulate its impacts -even when the implications are profound and far reaching, for example in biotechnology.

Ver traducción en el anexo 1, página 77.



Most scientific and technological research is now in the private sector, producing research for Northern wants rather than Southern needs. Small-scale farmers and the informal sector give little attention to small-scale technological innovation.

Knowledge and communications-based industries are rapidly reshaping the global economy. Many believe that these trends are contributing to a new 'knowledge divide' between the information-rich and the information-poor. There is an increasing sense of urgency -in the North and in the South- over the need to regain control over the ways new technologies are developed and used. It is not recognised widely enough that the poor are able to innovate themselves, and innovations arising from developing countries need to be increasingly recognised and supported.

Traditional views of technology that rely on a linear model of innovation and diffusion are not appropriate to programmes that aim to respond to new technologies (Dantas, 2005). The predominant traditional view has been based on technological determinism. As Winner (1986) suggested, «the adoption of a particular technical system requires the creation of a particular set of social conditions as the operating environment of that system». Such thinking leads to a technological push philosophy as embodied in the motto of the 1933 Chicago World Fair, «Science explores, technology executes, man conforms» (Fox, 2002). The worldview on which this philosophy is based is predominantly Northern, where the power is vested in global enterprises with large research and development budgets and where markets have developed to approximate to monopoly conditions. An example of this is the domination of Microsoft in the market for software. **Practical Action** views technology as not only meaning the hardware or technical infrastructure, but also the information, knowledge and skills which surround it, and the capacity to organise and use them.

An alternative view of technology is required. Grove-White (2000) have suggested that technologies need to be seen as social processes. This alternative view must recognise the role of the user (Southern poor) and the context provided by the cultural and political environment in which the user is based. The distinction being made here has been labelled «technology in use» by Edgerton (2006), who argues that the historical emphasis on technology innovation is misleading. Much technology that is in use in the world is adapted or imitated rather than innovated.

The quest to ensure that all people have access to clean drinking water is now enshrined in the Millennium Development Goals (MDG). Often approaches to providing water for poor communities have been driven either by economics or technology. The economics route might typically centre on the importance of regulations, institutions, and open markets. Whilst the technology approach might focus on designing a water pump, filter system, or novel application of nanotechnology. Yet we know that the technology for providing clean water has been known about and in use for thousands of years (for example the Romans around 300 BC). Failure to solve the issue might also be seen as a cultural or indeed political or managerial problem.

Views about the relevance of application areas for poor people converge on two sectors, namely water and energy. These were the sectors, according to an international group of experts convened by the Meridian Institute to advise a Rockefeller project, thought to be where applications of nanotechnology are likely to bring potentially beneficial products that could offer solutions for poor people. According to one recent study, the top three applications that would help developing countries are: energy storage, production and conversion; agricultural productivity enhancement and water treatment (Salamanca-Buentello *et al.*, 2005).

2.3. Nano-dialogues in Zimbabwe

In 2006, researchers from Demos, **Practical Action** and the University of Lancaster collaborated on a process designed to engage Zimbabwean community groups and scientists from both the North and South in debates about new (nano) technologies.

The dialogue was one of four experiments, collectively referred to as the nano-dialogues, in public engagement with nanotechnologies, funded by the Office of Science and Technology's *Sciencewise* programme. *Sciencewise* was created to foster interaction between scientists, government and the public on impacts of science and technology.

Water treatment was chosen as a focus for our dialogue. First, in development terms it is a well established priority. Second, technology is at a stage where it may be able to make a significant contribution to filtration, and decontamination. The Millennium Development Goal is to halve the proportion of people without sustainable access to safe drinking water and basic sanitation by 2015. Our dialogue sought to introduce the views and values of people for whom clean water is an everyday problem into debates about possible technical solutions. By involving scientists who were engaging in leading research we can move the debate upstream. We hope one of the outcomes will be a sustained dialogue between scientists and end users that enables new technology to deliver on human needs rather than be driven by market wants.

Governments, companies and NGOs are all talking about Nanotechnology as 'the next big thing'. Alongside the promise of new worthwhile opportunities comes uncertainty about risks, ethics and the benefits to those people who are too often left out of conversations about the ends of technology -the poor. The potential benefits of the applications of nanotechnologies in developing countries are exciting. But the conversation linking the needs of people in developing countries to the resources and scientific knowledge of researchers around the world needs to be nurtured.

Epworth is a suburb of Harare, but it feels rural. It is just outside the Harare city limits, which means it is cut loose from the support of the city. In 2005 it was the scene of some of the harshest of the slum clearances that formed Robert Mugabe's 'Operation Murambatsvina' ('Drive Out Trash'), which left thousands homeless.

Epworth gets its water from a combination of shallow wells and springs. The water brought up from the well looks clean enough, but with the pollution from the city, it's impossible to tell what it contains. 'We're supposed to check' shrugs our guide, who acts as one of the community leaders. Though Epworth is cut off, it is near enough to the city to be cramped. There is little space, and the well needs to be dug where there is water. Nearby, a new well is being created. At the bottom of a six-metre pit, a man is filling a bucket with wet sand. His colleagues pull up the bucket and pile the sand around the pit's edge. It has taken two days so far, and will take another three. Then they need to seal it and put a lid on it. The well is next door to a pit latrine. It is far from ideal, which is why new sanitation methods are so important.

Figure 1. Scene from Epworth



2.4. Spring Water (Epworth, Zimbabwe)

Any conversation about technology in Epworth has to start from here. In Zimbabwe, there is a headline context -a failing state and an economy that is both shrinking and sliding out of control- and there is an everyday context. In this everyday context, the idea of nanotechnology is not on its own likely to generate excitement. Ask what technologies people would like to see to help them get clean water and they mention rope-and-washer pumps, which replace disease-ridden open wells, and can be made and fixed using old tyres.

People in the developing world don't have much of a voice in science and technology. They are less likely to enjoy the benefits of new technologies and more likely to suffer from their downsides. The Royal Society (2004) and Royal Academy of Engineering took issue with the sweeteners often offered to the developing world by nano-marketeers:

Much of the 'visionary' literature (...) contains repeated claims about the major long-term impacts of nanotechnologies upon global society: for example, that it will provide cheap sustainable energy, environmental remediation, radical advances in medical diagnosis and treatment, more powerful IT capabilities, and improved consumer products (...). However, it is equally legitimate to ask who will benefit and, more crucially, who might lose out? (...) Concerns have been raised over the potential for nanotechnologies to intensify the gap between rich and poor countries because of their different capacities to develop and exploit nanotechnologies, leading to a so-called 'nano-divide'.

Figure 2. Soft Systems Methodology: Overview

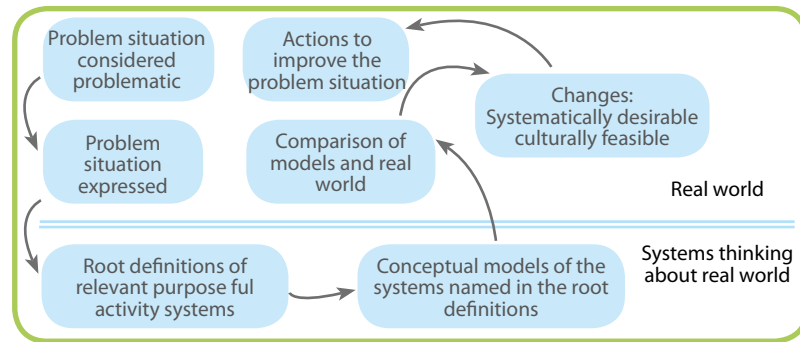
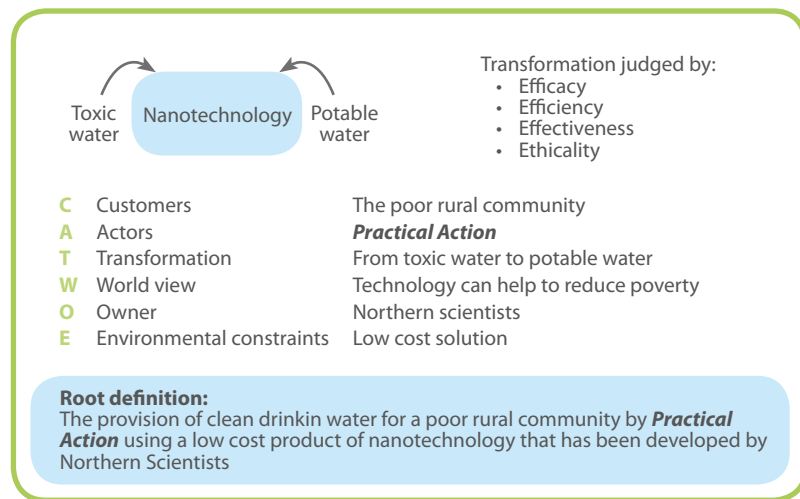


Figure 3. Capturing the Problem Situation



Other contributions, such as the Meridian Institute’s ‘Global dialogue on nanotechnology and the poor’, have stimulated wider discussion about possible benefits. One academic study, collecting the insights of people thinking about nano and development, concluded that the top three applications are energy, agriculture and water. For our second experiment, we chose to explore the relevance of nanotechnology in the provision of clean water. Demos worked with **Practical Action**, the development NGO, which for the past 40 years (under its former name of the Intermediate Technology Development Group) has been making technology work for people in poor countries. Its vision is of appropriate, usable, sustainable technologies, driven by human needs rather than markets.

In Harare, we put together a three-day workshop with local mushroom farmers, brick makers and water scientists. The nonscientists were representatives of communities that work with **Practical Action**. Three were from Epworth and three were from Chakohwa, a rural community near Chimanimani, in the mountains of eastern Zimbabwe. The scientists were from government agencies, universities and charities. The participants named our workshop Nanokutaurirana, a Shona neologism meaning ‘Nanodialogue’. But for the first day and a half, the word nanotechnology was not mentioned. We wanted people first to define what the problem was.

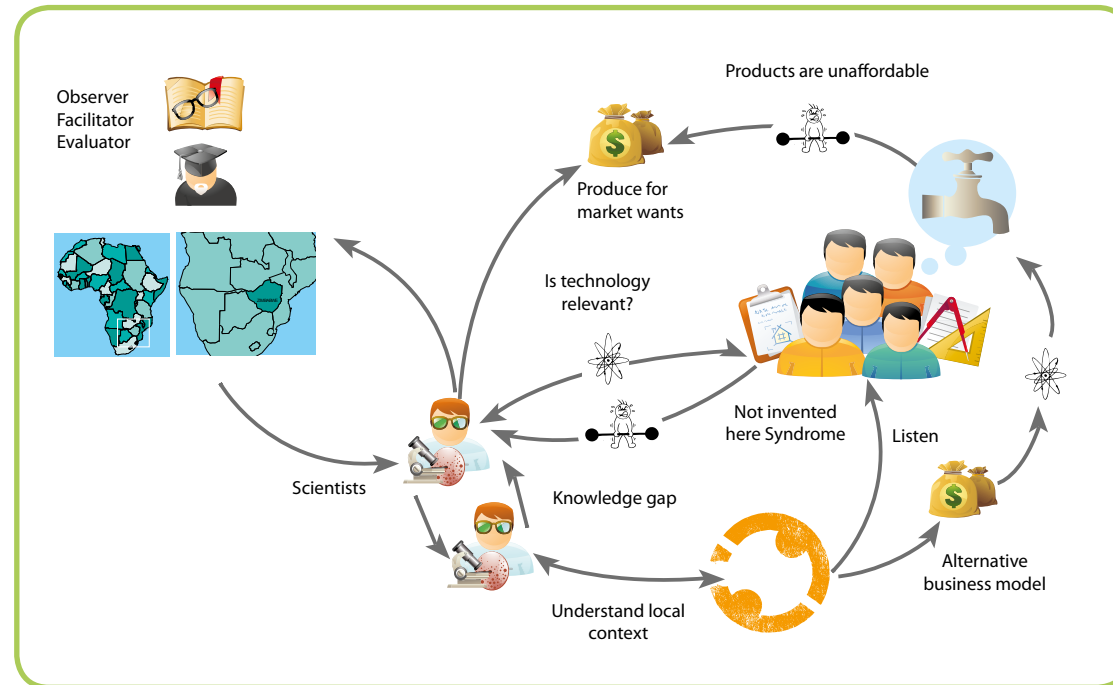
Their description of the problem had multiple roots. Water is a market commodity, it is unaffordable, it is scarce, it is a long way away and the responsibility for collecting it normally falls to women and girls. Where wells exist, they are crammed next to latrines and difficult to seal off from contamination. Near Harare, in addition to a recent cholera outbreak, there is chemical pollution from factories.

Away from the city, the rural community reported that water was contaminated by natural salt deposits. By the end of day one, we had a rough map of the issues and the connections between their social, technical and political dimensions. The more the problem came into view, the further removed nanotechnology seemed as a solution. The community representatives had been let down in the past by well-intentioned technologies. Water pumps had arrived with instructions in English or German. When handles had broken or filters had clogged, they had been unable to find the parts or the expertise to fix them. As one of the community representatives asked, «When the NGO goes away, who has the knowledge to run and maintain their technology?».

In recognition of the above characteristics of the problem domain we took a systemic approach. Many complex problems in science, engineering, or indeed other fields have some characteristics in common. Hard systems approaches have sometimes failed, for example, in the case of the Challenger disaster in 1986 when the space shuttle exploded moments after take-off killing all seven crew. Was this an engineering failure or one of managerial or political failure? McConnell (1988) says the emphasis at NASA had shifted from technological considerations to managerial, commercial and political ones. This is a good illustration of the way in which we frame problems effects the outcome in terms of the activities that take place to solve the problem situation. Two lessons are taken from this story: first that in complex problem situations a systemic approach has proved worthwhile; and second that «what in fact made the situations ill-defined was that objectives were unclear and that both what to do and how to do it were problematic» (Checkland & Scholes, 1990).

The dialogue took a soft systems approach which can be depicted at its simplest level in **figure 2**. The essence of the soft systems approach is that it allows a natural dialogue to take place with the facilitators using the methodology to capture and keep in a systematic way the outputs of each session.

Figure 4. Problem Situation



The problem situation was captured during the workshop held in Zimbabwe. Before the workshops a root definition and CATWOE were conceptualised, ready to be tested with the real dialogue during the first two days of the workshops. **Figure 3** gives an example of this kind of output, for reference.

Our approach was to build on *Practical Action's* experience of engaging people in developing countries in debates about new technologies.

Figure 4 depicts the problem situation in the form of a rich picture. During the first day of the workshop this rich picture was drawn by the organisers as a reflection of the problem presentation. The idea of the rich picture, very simply is that it can convey relationships and connections much more clearly than prose.

In the problem situation identified there were several sub-systems. The model in **figure 5** illustrates the idea. **Figure 6** shows some possible interactions between these three sub-systems, with each sub-system being shown in a different colour. The conceptual model shows a set of activities that would realise the root definition.

Academics might ponder such questions as: Is the methodology any good? Does it work? But in the real world most people recognise the need to find a methodology that works for them and get on with it: «If a reader tells the author, 'I have used your methodology and it works', the author would have to reply 'How do you know that better results might have been obtained by an ad hoc approach?' If the assertion is: 'The methodology does not work', the author can reply, ungraciously but with logic, 'How do you know the poor results were not due simply to your incompetence in using the methodology?» (Checkland, 1972).

Figure 5. Sub-systems

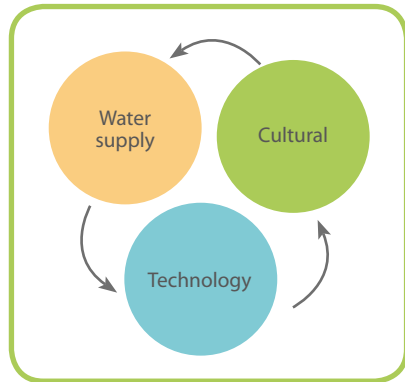
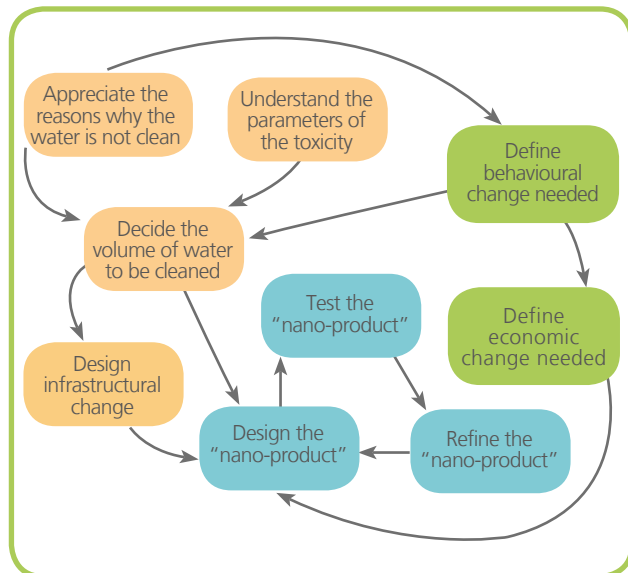


Figure 6. Conceptual Model



For these communities, local technology was not a matter of pride; it was a matter of what worked. The system that shapes the problem needs to map onto the system that provides the solution. So the rope-and-washer pump makes sense. It is not so much a thing as a system. It is not owned or sold by any one company and it is flexible enough to fit different societies. The participants were well aware that, as one put it: 'All these new technologies are old in other countries.'

As the historian David Edgerton (2006) describes, while the West obsesses about the increasing «pace of innovation . . . most change is taking place by the transfer of techniques from place to place». Technological systems -the way things are used, abused and controlled- are political. There are reasons why they end up the way they do, and there are ways in which we can talk about better or worse technologies. We can judge new technologies according to the extent to which they lock people into certain systems (as, for example, GM crops and centralised nuclear power do) or provide an open platform for new sorts of use (for example, Linux or micro-renewable energy).

Technologies carry with them some definition of social need and some promise of a technical fix. They define both a problem and a solution. And the systems of research, innovation and regulation of which they are a part can harden this definition. So while in the UK we may take the system -transport, maintenance, markets and a stable economy- for granted, in Epworth, this needs close scrutiny. Rather than starting from the technology, we need to start from the local context and think about alternatives.

Edgerton (2006) argues that the politics of new technologies have tended to narrow down consideration of alternatives. «Alternatives are everywhere, though they are often invisible». Public discussion reveals these alternatives. Technologies do not force people to do things, but as they open new doors, there is a danger that old ones can close. While good intentions are focused on nano and development, they may lose sight of what else can more easily benefit poor people. In the course of our public engagement work, as we have reflected the public context of nanotechnology back to institutions, we are often asked whether public concerns are specific to nanotechnology or more general. Our response has usually been that nanotechnology is currently a good place to start the conversation, but that the sentiments speak way beyond this. In Zimbabwe, the issue of whether we should be talking about nano at all never seemed more pressing.

Halfway through our workshop's second day, we introduced nanotechnology. A few weeks before, Hille (2006) had provided some examples of nano-products working in developing countries. Their report was careful to point out that the diffusion of these technologies was some way off, but it provided some examples of nano-scale water filters working in South Africa.

Our participants understandably shared little of the West's excitement for nanotechnology. Even for the scientists there was little prospect of riding nanotechnology's funding wave. So the group asked about applicability, alternatives, environmental impact, cost, maintenance and the capacity to manufacture and maintain the technology locally. They asked whether these technologies were fixed or adaptable for local needs, whether they would mean an increase in employment for Zimbabwean scientists, or greater reliance on the West. And they asked at what scale these could be used. Were they the sorts of filters that would be used centrally, at government treatment plants, or could they be put in schools and controlled by communities? The experiment revealed the huge gulf between research and diffusion. We began to see the steps that need to be taken to connect innovation to human need in a place like Epworth.

The temptation is to see the problem as intractable, to say that science has nothing to offer and that the solution is for Zimbabwe to provide solutions to Zimbabwean problems. But this would deny the huge potential that exists for constructive collaboration. Around the world, there are efforts under way to direct emerging technologies towards pressing human needs. A more positive approach might ask how these efforts might yield greater benefits.

As a step towards this, we asked our Zimbabwean participants to produce a set of recommendations for UK scientists. They concluded that innovation does need to point in a different direction, but collaboration can be hugely positive when there is a story to tell -that is, when it starts with some concrete benefit in mind. The Zimbabwean scientists recognised that in many cases, given the asymmetry of resources, Western scientists would have to lead research, but this research should recognise the value of local knowledge and work to empower Southern scientists and build their capacity. They also recommended immediate steps that could be taken, such as opening up access to all scientific journals.

Back in the UK, we went to visit Mark Welland in Cambridge. We were keen to see what lines could be drawn between the needs of people and the science, to stretch the connection back to the research base. Welland runs Cambridge University's Nanoscience Centre, but he is also co-director of the Yousef Jameel Science and Technology Research Center at the American University in Cairo. His research team is driven by scientific curiosity, but he encourages his colleagues to reflect on public value as part of their work. At one of his centre's nanoscience seminars, we told the scientists about our time in Zimbabwe and asked for their thoughts and questions.

In Zimbabwe, scientists saw community participation as a vital, if hugely complicated, part of what it means to do good science and engineering. In the UK, systems work against community or public engagement. Talking to the young researchers at the Interdisciplinary Research Collaboration (IRC) in Cambridge about our experiment, it became clear that many of them have an appetite to use their skills to contribute to human needs. But advancing in their scientific career often feels like a routine progression through certain stages in which they have «no control over their own research projects, social impacts or otherwise».

At the moment, the gravitational pull for these scientists is towards certain sorts of innovation -marketable technologies or a narrow definition of world-beating basic research. We need a broader understanding of innovation, which places greater value on the needs of people in the developing world. The young scientists in Cambridge recognised the scale of the challenge that this poses to established systems, but were unsure how to continue the conversation and change things from inside.

2.5. Nano-dialogues in Peru

One of the main challenges after the dialogues in Zimbabwe was to move beyond the dialogue into engagement of scientists. Two events were organized in Lima, Peru. First, a seminar attended by over 200 people, where talks were given by an international group of speakers. Included in the group of speakers was a scientist from the nanoscience centre at Cambridge University. Second, a workshop attended by about 30 people where key stakeholders (academics, government and NGO's) could discuss the prioritization of water problems and how they might be captured and represented to scientists.

In the time between the workshop and the seminar, a consultant Dr. Abel Gutarra, undertook a study of nanotechnology in Peru. A full account of this is given in the fifth chapter of the book; suffice it to note here that there were about 25 scientists in Peru engaged in work at the nano-scale.

A large part of the workshop was spent working in small groups to identify the main water problems and attempt to prioritise them. Stakeholder groups then discussed the actions they could take to try to resolve the problems. The main problems identified included:

- Heavy metal pollution of water from either mining or tanning activities. This affects water used for both drinking and irrigation
- Diagnosing or sensing the quality of water
- Water quality is not monitored or regulated
- Lack of strategic alliances between key stakeholders
- Lack of awareness and education amongst some local populations concerning issues around clean water and sanitation
- Lack of accessible technologies, especially in the rural areas

Some actions were also identified: each of the stakeholder groups identified the desire to set up a network about nanotechnology for water and sanitation. Some scientists also identified interest in working on a nano-sensor to tackle the problem of diagnosing or sensing the quality of water in areas where there is heavy metal pollution. It is hoped that a sub-group will take this forward as an activity.

The main ways in which the move towards engagement needs to happen is to include: building local capacity, selecting appropriate technology, clarifying risk, and identifying business models. We live in an era of rapid technological advancement, with scientists consistently producing new innovations. Despite this, many of these developments are not escaping the academic field and being implemented where they could have considerable benefits in the lives of those who really need them. The simple reason for this is the minimal communication between groups, and thus a lack of awareness about what is needed -and what is available. A new NGO called Science for Humanity seeks to overcome this problem by matching scientists and their work on the one hand, and the needs of those (predominantly in the developing countries) on the other. Working closely with scientists, NGOs and governments in order to identify problems and possible scientific solutions, develop policy and provide funding. By providing this knowledge base and central dialogue, we bring to those who really need it the immense potential for development provided by the ever increasing new technologies

2.6. Balancing Risk and Opportunity

In the UK, nanotechnology is being seen as an opportunity to have an earlier and more open debate about emerging technologies, to avoid the antagonism and distrust generated with Genetically Modified (GM) foods. The Government are supporting the Royal Society and Royal Academy of Engineering's call for «a constructive and proactive debate about the future of nanotechnologies... at a stage when it can inform key decisions about their development and before deeply entrenched or polarized positions appear» (Royal Society, 2003). For a fuller discussion of the risk and opportunities issues please see the next chapter.

2.7. Future Directions

The emergence of nanotechnology has coincided with greater openness in science and innovation policy. For government, public engagement has become a way of avoiding a repeat of past mistakes. Depending on who you ask, nanotechnology might be the next big thing, the next asbestos, or the next GM. But before its impacts have been felt, nanotechnology has become a test case for a new sort of governance. It is an opportunity to re-imagine the relationship between science and democracy. For public engagement to matter it must go beyond risk management. New conversations with the public do not provide easy answers. They ask difficult but important questions, and take us into a vital discussion of the politics of science.

The concept of new technology presents many challenges to those concerned with how it can be used to reduce poverty in the world. The promise of many new technologies has been high yet their ability to deliver sustainable change in the lives of poor people has been limited. At the same time the very model and assumptions underpinning much of international development have been economic growth. The paper presented a case for using a new paradigm based on enabling choices to be made that fulfil the needs of people. This requires a move away from the old paradigm, which is supply driven, delivering products to a market at a price, which will maximise profits for the owners of the intellectual capital.

3. Nanotechnology and Water Applications: A Brief Assessment of Opportunities and Risks

David Grimshaw

«They reconfigured the nanoparticles to add solar power and memory. They rewrote the particle program to include a genetic algorithm. And they released the particles to reproduce and evolve, and see if the swarm could survive on its own. And they succeeded» (Crichton, 2002)

«Some unease about nanotechnology was expressed earlier this year with suggestions that plagues of self-replicating nanobots could turn the world into 'grey goo', Prof. Dowling said, a key role of the project (Royal Society Working Group) will be to separate the hype and hypothetical from the reality» (The Guardian, 12th June 2003)

«There has emerged a cult now of futurists who foresee nanotechnology as a pathway to a technological utopia: unparalleled prosperity, pollution-free industry, even something resembling eternal life» (Stix, 2001)

Abstract

In the commercial world the prospects of new materials creates an excitement that is often followed by research funding and commercial exploitation. This paper reviews the risks and opportunities presented by nanotechnologies. It goes on to give an overview of the size of the market before reviewing in more detail the specific applications of nanotechnologies to water remediation. The overall conclusions made are somewhat contingent on the overall assessment of the balance of risk to environment and public health.

3.1. Characteristics of Nanotechnology

There has been much hype about nanotechnology so it is useful to clarify what is meant by that term. Unlike other technologies, which have often sprung directly from a particular scientific discipline, nanotechnology is essentially defined by the scale at which it operates.

The Royal Society (2003) defines nanotechnology as:

Nanoscience and nanotechnology involve studying and working with matter on an ultra-small scale. One nanometre is one-millionth of a millimetre and a single human hair is around 80,000 nanometres in width. Nanoscience and Nanotechnology encompass a range of techniques rather than a single discipline. The technology stretches across the whole spectrum of science, touching medicine, physics, engineering and chemistry.

This kind of scale is difficult for us to visualize. It means that if the distance between the Sun and the Earth were 1 metre then a football pitch would be 1 nanometre. According to Holister (2002):

The ability to do things -measure, see, predict and make- on the scale of atoms and molecules and exploit the novel properties found at that scale. Traditionally, the nanotechnology realm is defined as being between 0.1 and 100 nanometres, a nanometre being one thousandth of a micron (micrometer), which is, in turn, one thousandth of a millimetre.

Ver traducción en el anexo 2, página 87.



There are two main implications of operating at the nanoscale:

- It facilitates the assembly of atoms and molecules. In turn these are made up of 115 known chemical elements (Emsley, 2001). Providing the recipe is known it is a small step to build new things from these chemical elements. Rather like building a model from Lego bricks we might envisage creating new materials and modifying existing ones
- The characteristics of materials at the nanoscale are sometimes different. Materials fabricated on the nano-scale have properties that are different from those that are manufactured at a normal scale. For example, the precise way in which the atoms are arranged often leads to unusual optical and electrical properties Carbon at the nanoscale can conduct electricity better than copper. In other cases the small size may have the effect of being more toxic than normal

3.2. Issues of Risk and Opportunity

Any assessment of the future market for the products derived from nanotechnology needs to take account of both the risks and opportunities.

Is the science of nanotechnology ahead of the understanding of the ethical and social issues?

Research on the ethical, legal and social implications is, according to Mnyusiwalla (2003), lagging behind the science. As evidence for this view they quote the low number of citations in the literature and the fact that, in the U.S., there are research funds available that are not being used. For example, the National Nanotechnology Initiative allocated US\$16-28 million to social implications but spent less than half that amount. One of the main reasons quoted for the lack of awards was the paucity of good quality proposals. In the United Kingdom the Economic and Social Research Council (ESRC) published a report examining the social and economic challenges of nanotechnology (Wood *et al.*, 2003). One of the dangers of a lack of research into the social implications of nanotechnology is that the public will be fuelled by fear uncertainty and doubt.

However, there have been some encouraging signs of increased activities in both the U.S. and England in the past few years. The National Nanotechnology Initiative Strategic Plan (2007) identifies two goals around the ethical and social issues: environment, health and safety, and education and societal.

Upstream dialogues have taken place in the United Kingdom and Zimbabwe in an effort to engage scientists and likely end users (Grimshaw, *et al.*, 2008). In November 2006, the Royal Society, Insight Investment and the Nanotechnology Industries Association (NIA) came together to explore the societal and economic impact of the technical, social and commercial uncertainties related to nanotechnologies. One of the outcomes was to establish a working group to prepare a Responsible NanoCode. This is currently being developed by a mixed stakeholder group who hope to launch the code in 2008.

Is nanotechnology a risk or opportunity?

In our society, where there is a risk, the insurance industry will be key players in identifying and analyzing that risk. The Benfield Group (Benfield is the world's leading independent reinsurance intermediary and risk advisory business) concluded their assessment by stating that, «the industry's current focus is on risk management and containment, for example in the manufacture and transportation of nanotechnology» (French, 2004). A study by Munich Re (the largest re-insurance company) echoing the emphasis on risk management states, «up to now, losses involving dangerous products were on a relatively manageable scale whereas, taken to extremes, nanotechnology products can even cause ecological damage which is permanent and difficult to contain» (Schmid, 2002). An increased risk potential of nanotechnology, according to Schmid, can arise from:

- New types of loss arising from new material properties such as magnetic fluids
- Increase in major claims
- Liability cases arising out of changing legislation designed to protect the wider environment
- Adverse socio-political effects and irreversible ecological damage

A distinction can be made, in terms of risk assessment, between active and passive nanoparticles. Passive particles, such as a coating are likely to present no more or less a risk than other manufacturing processes according to French (2004). However, she goes on to assert that in the case of active nanoparticles, their ability to move around the environment leads to risks associated with control and containment. Most researchers would suggest that the key risk area relates to engineered nanoparticles. Vyvyan Howard, one of Europe's leading researchers of nanoparticle toxicity, reported (Nanotox, 2004) on the possibility that one form of nanoscale material may be transferred from a mother into her fetus (Wootliff, 2004).

These studies raise the issue of whether we should regulate nanotechnologies or not. Lin (2007) suggests that: «rather than causing the nanotechnology industry and business to slow down now -which risks being a knee-jerk reaction to create more laws in the face of a problem- other areas can be stimulated to quickly catch up». By other areas, Lin means regulatory pre-planning and testing methods and standards.

What can we learn from efforts to address social implications of biotechnology?

It is likely that nanotechnology will, as GM has, lead to a widening gap between rich and poor. The environmental impact, as in the case of biotechnology, might turn out to be greater than envisaged. A key report by the Royal Society (2004) puts it this way:

Much of the 'visionary' literature (...) contains repeated claims about the major long-term impacts of nanotechnologies upon global society: for example, that it will provide cheap sustainable energy, environmental remediation, radical advances in medical diagnosis and treatment, more powerful IT capabilities, and improved consumer products (...). However, it is equally legitimate to ask who will benefit and, more crucially, who might lose out? (...) Concerns have been raised over the potential for nanotechnologies to intensify the gap between rich and poor countries because of their different capacities to develop and exploit nanotechnologies, leading to a so-called 'nano-divide'.

The attempts to engage in dialogue with scientists and people in developing countries for example those under the auspices of the Meridian Institute and the work of **Practical Action** in collaboration with Demos and the University of Lancaster have shown that early engagement helps to build local capacities.

3.3. Implications for Investment

The field of nanotechnology is interdisciplinary; therefore, the applications are diverse. Here we review the potential market in terms of size and the types of products that are likely.

Market Size

There are many predictions of future market size. However, these are difficult to quantify precisely because of the uncertainty of how things will develop over the next 10 years or so. Forecasts are made by a wide range of organizations; the National Science Foundation (U.S.) has made the largest prediction of market size at US\$2.85 trillion by 2015. Currently in the U.S. the per annum investment in nanotechnology research is US\$4 billion (National Nanotechnology Initiative, 2007).

Scenarios

A survey carried out among nano scientists by the American computer magazine Wired (2000) gives some indication of the way ahead:

- We can look forward to computer memories with terabyte capacity by 2004
- By 2009 we will have the first laws relating to nanotechnology
- By 2011 there will be large-scale production of machines able to position and manipulate individual atoms with great accuracy
- By 2029 nano machines will repair live cells using atomic building blocks

Scenarios that predict biotechnology and nanotechnology will be able to quickly and cheaply create startling new things under the sun also must imagine that computers will become semi-autonomous, superintelligent, virtuoso engineers. But computers will do no such thing if the last half-century of progress in software can serve as a predictor of the next half-century.

It seems that some fundamental assumptions are built into many of these scenarios. The scenarios are technology led in so far as the focus is on what the technology might do not what it should do. The manipulation of atoms and molecules at the nano scale might indeed lead to amazing hardware developments but this does not necessarily mean that the software will evolve at the same rate. It seems to be an implicit assumption in many of the scenarios in the literature, that artificial intelligence will make large steps forward to accompany the changes in hardware. In simple terms, it is the ability of humans to control the hardware that should be questioned and debated.

3.4. Applications in the Water Sector

Clean water is, without doubt important to people all around the world. Nanotechnology has the potential to solve technical challenges associated with the removal of water contaminants. There are many claims that these technologies offer more affordable, effective, efficient, and durable ways of removing specific types of pollutants from water. A range of water treatment devices that incorporate nanotechnology are already on the market and others are either close to market launch or in the process of being developed. These applications include:

- «Nanofiltration membranes (polymer filters); are already widely applied for removal of dissolved salts from salty water, removal of micro pollutants, water softening, and wastewater treatment. The membranes selectively reject substances, which enables the removal of harmful pollutants and retention of nutrients present in water that are required for the normal functioning of the body. It is expected that nanotechnology will contribute to improvements in membrane technology that will drive down the costs of desalination, which is currently a significant impediment to wider adoption of desalination technology. Source materials for nanofilters include naturally occurring zeolites and attapulgite clays, which can now be manipulated on the nanoscale to allow for greater control over pore size of filter membranes. Researchers are also developing new classes of nanoporous polymeric materials that are more effective than conventional polymer filters. New filters and desalination devices that incorporate nanotechnology are already on the market, and new discoveries that are currently being published could soon result in even more efficient, effective, and cheaper filters
- Attapulgite clay, zeolite, filters; Attapulgite clays are naturally occurring materials, which are locally available in many places around the world. A study looking at the use of attapulgite clay membranes to filter waste water from a milk factory in Algeria showed that using the locally available clay in the filtration process offered an economical and effective method for reducing the amount of whey and other organic matter to make the wastewater safe to drink. Zeolites are microporous crystalline solids with well-defined structures. Generally they contain silicon, aluminium, and oxygen in their framework and cations, water, and/or other molecules within their pores. Many occur naturally as minerals and are extensively mined in many parts of the world. Others are synthetic and are made commercially for specific uses or produced by research scientists trying to understand more about their chemistry. Zeolites can be used to separate harmful organics from water and to remove heavy metal ions from water

- Nanocatalysts and Magnetic nanoparticles; Researchers expect that nanocatalysts and magnetic nanoparticles will enable the use of heavily polluted water for drinking, sanitation, and irrigation. Using catalytic particles could chemically degrade pollutants instead of simply moving them somewhere else, including pollutants for which existing technologies are inefficient or cost prohibitive. Magnetic nanoparticles, when coated with different compounds that have a selective affinity for diverse contaminating substances, could be used to remove pollutants, including arsenic, from water. Companies are commercializing these technologies and researchers are frequently publishing new discoveries in this area
- Nanosensors for the detection of contaminants. Researchers are developing new sensor technologies that combine micro- and nanofabrication technology to create small, portable, and highly accurate sensors to detect chemical and biochemical parameters in water. Several research consortia are field testing devices that incorporate nanosensor technology to detect pollutants in water, and some expect to commercialize these devices in the next year. New research results are published frequently» (Hille *et al.*, 2005)

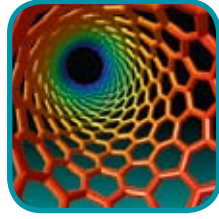
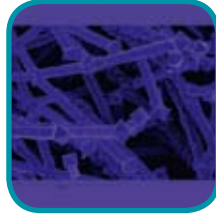
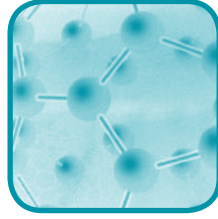
The main risk areas with respect to using nanotechnology are mainly with respect to the unknowns of engineered nanoparticles. So, for example, the use of magnetic nanoparticles may present some, as yet unknown, risk to health or environment. Most scientists agree that the use of nano membranes as filters will not expose users or the environment to risk because there are never any nanoparticles introduced into the water.

Currently there are a number of manufacturers of filtration technology that use nano-membranes. Some of these were recently tested out in South Africa and reported by Hille (2005). Most currently available applications are at the level of community infrastructure; however, if the cost can be reduced further it may be possible to introduce the technology at the household level.

3.5. Conclusion

With increased pressure, from population growth and climate change, on our water resources in the world it will become more important to use and perhaps re-use this limited resource. There are several applications of nanotechnologies that may be applied to remediation of water. Additionally the prospect of being able to remove the salinity of salt water more cheaply and with less energy consumption than reverse osmosis is attractive and likely to present investment opportunities.

If the costs of nanotechnology based products become as low as some of the forecasts then applications in the developing world may present investment opportunities that are attractive both economically and socially.



4. Políticas públicas para el desarrollo y utilización de la nanotecnología¹

Carlos Aguirre-Bastos²

Abstract

El presente artículo realiza una evaluación del estado de la nanotecnología y el avance de las tecnologías convergentes a nivel global, evaluando el estado de la investigación y la priorización de líneas investigativas en los países desarrollados. A partir de esto, se dedica a determinar el nivel de desarrollo de políticas en América del Sur, sugiriendo aplicaciones para el desarrollo tecnológico y el uso social en los países del bloque de la Comunidad andina de naciones.

4.1. Introducción

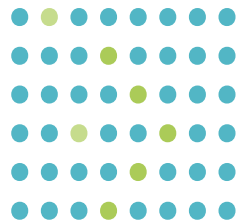
La acelerada difusión de las tecnologías transformativas (nano, bio, info, cogno o NBIC) y su convergencia tiene y tendrá cada vez un impacto más profundo sobre el desarrollo. Frente a esta situación, las políticas públicas y los sistemas de gobernabilidad en los países en desarrollo enfrentan dificultades para mantenerse al ritmo del nuevo conocimiento generado, para introducirlo o adaptarlo a metas sociales como la reducción de la pobreza o metas económicas como la introducción de mejoras de la competitividad o de desarrollo sostenible.

Por otro lado, en los países en desarrollo, además de las comunidades científicas y tomadores de decisiones de la esfera pública, varias organizaciones de actores interesados (*stakeholders*), como ONG, gremios de producción, sociedades profesionales y organizaciones civiles ciudadanas, así como ciudadanos comunes, juegan un papel cada vez más importante en la discusión, definición de políticas y construcción de una conciencia pública sobre los impactos tecnológicos. A ello contribuyen también organismos y alianzas internacionales.

Al mismo tiempo, se evidencia que muchos de los actores no conciben claramente los impactos del nuevo conocimiento, y en consecuencia, decisiones de política pública son tomadas en los planos nacional o local sobre una información incompleta y fragmentada y en ocasiones pobre o por la influyente presencia de instituciones no preparadas para comprender y enfrentar los nuevos desafíos que imponen las tecnologías transformativas y su convergencia en las estructuras sociales y económicas. Conviene así señalar que existe hoy un efectivo desafío de la convergencia para los países en desarrollo.

En este contexto se analizaron experiencias en los países andinos sobre el desarrollo de la nanotecnología y la adopción de políticas en este campo. Algunas de estas experiencias serán descritas en el presente capítulo. Este esfuerzo fue desarrollado con el propósito de contribuir a una mejor comprensión sobre cómo los países andinos pueden enfrentar opciones de aprendizaje y de política alrededor del debate y diálogo sobre tecnologías transformativas y convergentes, y en particular sobre la nanotecnología.

4



.....

- 1 El presente trabajo está basado en los resultados del proyecto *Tecnologías convergentes: ¿qué está siendo hecho y qué debería hacerse sobre ellas en los países andinos?*, ejecutado entre 2005 y 2007 gracias al financiamiento del Centro de investigaciones para el desarrollo (IDRC-CIID) de Canadá.
- 2 Doctor en física por la Universidade Federal do Rio de Janeiro. Investigador principal en el proyecto *Tecnologías convergentes*, miembro del comité impulsor del diálogo global sobre nanotecnología y los pobres, y miembro del consejo científico de la Corte de La Haya para la resolución de disputas ambientales.

Tecnologías convergentes

Las tecnologías convergentes son la combinación sinérgica (en dúos, tríos o cuartetos) de áreas de la ciencia y la tecnología (las tecnologías transformativas, NBIC), cada una de las cuales progresa a un acelerado ritmo: nanociencia y nanotecnología; biotecnología, biomedicina e ingeniería genética; tecnología de la información, comunicación y computación avanzada; ciencias cognitivas y neurociencia cognitiva.

4.2. Convergencia y nanotecnología

La convergencia de las tecnologías transformativas se basa fundamentalmente en la unidad material a nanoescala y la integración tecnológica a partir de ella. A escala nanométrica, la materia manifiesta en ocasiones propiedades diferentes a las tradicionalmente conocidas a escala macroscópica. Aprovechar estas propiedades en la implementación de dispositivos, en la formación de nuevos materiales, en sus métodos de manufactura y en su producción es tan solo uno de los propósitos de este paradigma emergente que transformará a las sociedades en el curso de las próximas décadas.

4.3. Nanotecnología: desarrollo y potencial

Se espera que la nanotecnología sea la tecnología transformativa de este siglo por su capacidad de reconstruir sustancias familiares o crear materiales y productos con nuevas propiedades y funciones. La nanotecnología reestructurará las tecnologías actualmente en uso para la manufactura, medicina, defensa, producción de energía, gestión ambiental, transporte, comunicaciones, computación y educación. Las aplicaciones en nanotecnología no solamente penetrarán y permearán todos los sectores productivos, acompañarán también cambios en los ámbitos social, económico, ético y ecológico.

La nanotecnología ha adquirido un papel estratégico en el concierto de tecnologías convergentes. El número creciente de publicaciones, programas de formación, centros de investigación y producción industrial, así como los montos presupuestales cada vez más significativos invertidos en este tema dan cuenta del importante papel que juega el avance tecnológico en escala nanométrica para trazar el camino por el que transitará la sociedad del siglo XXI. El año 2004 se reportaron más de 1 500 compañías involucradas en proyectos de investigación y desarrollo relacionados con tecnologías a escala nanométrica. Importantes instituciones como la National Nanotechnology Initiative (NNI) de los Estados Unidos de América, han estimado que para el 2015 su impacto podrá haber disparado estos indicadores y haber generado nuevas oportunidades industriales (Roco y Bainbridge, 2001). Se calcula que en 2004 ya existían en el mercado productos que incorporaban nanotecnología por un valor de US\$13 000 millones.

Sobre las aplicaciones de nanotecnología, se han identificado cuatro generaciones superpuestas de productos y procesos con potencial de desarrollo en el lapso 2000-2020:

a. Nanoestructuras pasivas:

- Nanoestructuras dispersas y de contacto: aerosoles y coloides
- Productos incorporando nanoestructuras: revestimientos, compuestos reforzados por nanopartículas, metales nanoestructurados, polímeros y cerámicas

b. Nanoestructuras activas (con función evolutiva):

- Con efectos sobre la salud, bioactivos: drogas, bioartefactos

- Estructuras adaptativas físico-químicas activas: transistores de 3D, amplificadores

c. Nanosistemas integrados:

- Manufactura asistida, redes de 3D y nuevas arquitecturas jerárquicas: robótica, biosistemas evolucionarios

d. Nanosistemas moleculares heterogéneos:

- Artefactos moleculares por diseño, diseño atómico, funciones emergentes

Cada generación de productos está marcada por la creación de prototipos comerciales que usan el control sistemático de los fenómenos en los que se basan y de procesos de manufactura. Los productos pueden también incluir componentes que corresponden a diferentes generaciones. Se espera que las actuales capacidades rudimentarias de la nanotecnología para el control y la manufactura a nanoescala evolucionen significativamente tanto en complejidad como en el grado de integración hacia el año 2020.

4.4. Nanotecnología y sus aplicaciones en países en desarrollo

La nanotecnología puede ser dominada para atender muchos de los problemas más críticos del desarrollo y en los últimos años varios han sido varios los esfuerzos para sistematizar mejor estas posibles contribuciones.

El Instituto Meridian eligió los sectores de mayor potencial de aplicación y convocó a especialistas en nanotecnología, en desarrollo de políticas públicas y académicos a diálogos en talleres de trabajo. El primer taller fue ejecutado en Chennai (India), en octubre de 2006 y trató sobre aplicaciones de nanotecnología al agua. El taller discutió sobre la base de estudios previamente elaborados (Meridian, 2006) un conjunto de instrumentos y artefactos que ya incorporan nanotecnología y están en el mercado o que están en un estado avanzado de desarrollo como:

- Membranas para nanofiltración, incluyendo tecnologías de desalinización
- Arcillas atapulgita, zeolitas y filtros de polímeros
- Nanocatalizadores
- Nanopartículas magnéticas
- Nanosensores para la detección de contaminantes

En el mismo enfoque, el instituto convocó a otro taller en mayo de 2007, en Río de Janeiro para examinar las aplicaciones e impactos de la nanotecnología sobre los *commodities* de los países en desarrollo, donde estos productos constituyen el eje de la economía. De un total de 141 países en desarrollo, 95 dependen de sus *commodities* para al menos 50 % de sus ingresos por exportaciones (CFC, 2005). Si bien existen aplicaciones positivas, también existen riesgos potenciales que incluyen:

- Disminución de la demanda global de *commodities* y productos primarios exportables debido a la presencia de nuevos nanomateriales y productos facilitados por la nanotecnología que pueden funcionar como sustitutos con igual o mejor comportamiento a precios comparables
- Disminución de la demanda global para *commodities* de exportación debido a nanotecnologías que incrementan la potencia de pequeñas cantidades de materiales de *commodities* o que aumentan su longevidad
- Aumento en la oferta global de *commodities* de exportación y pérdida de ventajas comparativas debido a procesos de producción basados en la nanotecnología, que permitan una producción más barata, localizada y no limitada

Por otro lado, una consulta dirigida a especialistas andinos permitió clasificar los avances potenciales más importantes de la nanotecnología para ellos, según se muestra en la **tabla 1**.

Tabla 1. Avances y aplicaciones más significativas de la nanotecnología para los países andinos

Posición	Avance
1	Tratamiento y mejoramiento del agua: nanosensores para la detección de contaminantes y patógenos, nanomembranas y arcillas para la desalinización y remoción de compuestos tóxicos, nanomagnetos para la remoción de compuestos radioactivos
2	Transplante y reparación de órganos y tejidos: nanomateriales para vendas de transplante y reparación de órganos y tejidos, sangre artificial, prótesis como recursos visuales y auditivos
3	Diagnóstico y control de enfermedades: laboratorio-sobre-chip, puntos cuánticos para la biodetección y bioanálisis, pruebas y secuenciamiento de ADN para propósitos humanos, veterinarios y agrícolas, artefactos para la detección de patógenos, amplificadores de imágenes médicas, etiquetas moleculares ópticas y magnéticas
4	Incremento de la eficiencia de equipos eléctricos, químicos y mecánicos: fullerenos como lubricantes, máquinas, artefactos y manufactura molecular, nanomateriales para el aislamiento térmico y eléctrico y la reducción de la fricción y el desgaste, ingeniería molecular de materiales
5	Almacenamiento, producción y conversión de energía: celdas solares y de combustible, almacenamiento y conversión de hidrógeno, membranas húmedas autoreparables para almacenamiento de energía, aplicaciones y artefactos fotónicos
6	Mejoramiento del aire: artefactos para la separación de gases, nanorevestimientos para la fotocatalisis de contaminantes aéreos y para la reducción de emisiones de combustibles fósiles, nanosensores para materiales tóxicos y fugas
7	Almacenamiento y procesamiento de datos: nanotubos de carbón para transistores de un electrón, memoria, almacenamiento y procesamiento de ADN y óptica, pozos y puntos cuánticos, espintrónica, transistores con nanocables
8	Transmisión de datos: nanocables y monocapas autoensambladas
9	Mejoramiento de la agricultura: nanocápsulas para la propagación de herbicidas, sistemas de liberación de agua y nutrientes lentos, nanosensores de calidad de suelos, nanosensores para salud vegetal, fertilizantes biodegradables, nanomagnetos para descontaminación de suelos
10	Sistemas de transporte de drogas: nanocápsulas, liposomas, dendrímeros, <i>buckyballs</i> para la entrega de drogas y vacunas, sistemas de entrega de drogas lentos y sostenibles

Fuente: Aguirre et al., 2007

4.5. El riesgo en nanotecnología

Al señalar las oportunidades actuales y futuras de las tecnologías convergentes, y en particular de la nanotecnología, también se ha alertado sobre sus impactos negativos, en particular su desarrollo como una forma de manipulación de las economías y sociedades que se encuentren en desventaja al haberlas desarrollado, ampliando más la brecha de pobreza y desigualdad entre países (Goncalves, 2006).

Un estudio del grupo ETC (ETC Group, 2005) anota que las relaciones económicas y sociales entre los países del norte y del sur pueden verse afectadas aún más por el proceso de sustitución referido anteriormente con el caso de los *commodities*. Es conveniente señalar que a pesar de las alertas existentes, los enfoques de gobernabilidad del riesgo específicos a la nanotecnología parecen quedarse atrás y hay una percepción de que la velocidad actual y el alcance de la I+D excede la capacidad de los reguladores de evaluar el impacto humano y ambiental (Vessuri y Sánchez, 2007).

Sobre la base de diferentes estudios, Rejeski (2005) ha resumido los riesgos potenciales de la nanotecnología de la siguiente manera:

- Una vez que los nanomateriales construidos muestran comportamientos que dependen de su estructura física y química, los paradigmas de evaluación del riesgo que han sido desarrollados sobre la base de química tradicional pueden no ser más válidos
- La respuesta sobre la inhalación de partículas insolubles nanoestructuradas en los pulmones no es conocida. En general, no existe información disponible sobre el comportamiento de materiales nanoestructurados en el cuerpo
- Partículas de diámetro nanométrico pueden ser eliminadas de los pulmones a través de rutas no convencionales y afectar otras partes del cuerpo, incluyendo el sistema cardiovascular, hígado, riñones y cerebro. No se sabe casi nada sobre el impacto de nanomateriales estructurados sobre estos órganos
- Las partículas de diámetro nanométrico pueden ser capaces de penetrar la piel en algunos casos, aunque esta es aún un área de investigación básica y las posibilidades de penetración son aparentemente mayores para la piel dañada. El potencial efecto de las partículas nanoestructuradas en cosméticos y otros productos de la piel puede no ser dañino, pero esto requiere mayor estudio
- Casi no hay información sobre el peligro de la ingesta vía aditivos alimentarios o por accidente de nanomateriales estructurados
- Aunque una comprensión del impacto de materiales nanoestructurados y productos de origen nano para su lanzamiento en el medio ambiente o el agua es considerada crítica, virtualmente nada se conoce hasta el momento

Considerando esta situación, varios países y grupos de países han iniciado tareas de diálogo y definición de normas de control, monitoreo y regulación. Sin embargo, los recursos asignados a las tareas de investigación de los riesgos son aún escasos frente a aquellos destinados a la investigación.

El South Centre (ETC Group, 2005) ha llamado la atención sobre la imposibilidad de evaluar las oportunidades y desafíos potenciales que la nanotecnología presenta a los países en desarrollo sin examinar el contexto más amplio de la transferencia de tecnología y de propiedad intelectual.

El control y propiedad de la nanotecnología es vital para los países en desarrollo ya que una singular innovación en la escala nanométrica (materiales, artefactos y procesos) puede ser relevante para un sinnúmero de aplicaciones en todos los sectores industriales. Las empresas que poseen patentes pioneras pueden potencialmente voltear industrias enteras. La ingeniería a escala nanométrica provee nuevas oportunidades para el control monopólico de materia animada e inerte. De esta manera la propiedad intelectual jugará un papel clave en decidir quién puede capturar el mercado de billones de dólares previsto para los próximos diez a quince años, quién ganará acceso a las tecnologías a nanoescala y a qué precio. Las patentes tendrán una sombra más grande sobre la nanotecnología que sobre cualquier otra ciencia moderna en un estado comparable de desarrollo.

4.6. Plataformas para involucrar a grupos de interés

Los métodos para involucrar a empresarios y responsables de políticas en debates anticipatorios acerca de las tecnologías transformativas no están todavía bien desarrollados. Existen algunos, como los que adelanta el International Risk Governance Council, IRGC (Renn y Roco, 2006), que muestran oportunidades para estimular la innovación participativa en esta área y generar mejores plataformas para involucrar a grupos de interés. Se sugiere, como resultado del análisis, que todo conflicto puede ser manejado

involucrando a grupos de interés cuando se distribuyen los diferentes riesgos bajo cuatro categorías tal como señalan las **tablas 2 a 5** (Vessuri y Sánchez, 2007).

Tabla 2. Problemas de riesgos simples

Caracterización del conocimiento	Estrategia de gestión	Instrumentos apropiados	Participación de grupos de interés
<p>Problemas de riesgos simples</p> <p>Marco: materiales naturalmente nanoestructurados, donde la composición química determina las propiedades</p>	<p>Basada en la rutina: juicio de tolerancia, aceptabilidad</p>	<p>Aplicación de la toma de decisión tradicional:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de riesgo-beneficio • <i>Trade-offs</i> riesgo-riesgo • Ensayo y error • Estándares técnicos • Incentivos económicos • Educación, etiquetado, información • Acuerdos voluntarios 	<p>Discurso instrumental</p>

Tabla 3. Problemas de riesgos complejos asociados con componentes

Caracterización del conocimiento	Estrategia de gestión	Instrumentos apropiados	Participación de grupos de interés
<p>Problemas de riesgo inducidos por la complejidad de los componentes</p> <p>Marco: nanoestructuras pasivas con nuevas propiedades y funciones para la misma composición química: primera generación de nanoproductos</p>	<p>Informada en cuanto al riesgo: agente de riesgo y cadena causal</p>	<p>Caracterización de la evidencia disponible:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consenso experto en la búsqueda de instrumentos • Delphi o conferencia de consenso • Meta-análisis • Construcción de escenarios • Resultados alimentados en operaciones rutinarias 	<p>Discurso epistemológico</p>
	<p>Enfocada en la robustez: sistema que absorbe el riesgo</p>	<p>Mejoramiento de la capacidad de amortiguamiento de la meta de riesgo a través de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mecanismos adicionales de seguridad • Redundancia y diversidad en el diseño de mecanismos de seguridad • Mejora en la capacidad de manejo • Establecimiento de organizaciones de alta confiabilidad 	

Tabla 4. Problemas de riesgos debidos a cuestiones irresueltas de elevada incertidumbre

Caracterización del conocimiento	Estrategia de gestión	Instrumentos apropiados	Participación de grupos de interés
Problemas de riesgo inducidos por incertidumbres del sistema Marco: estructuras y nanosistemas activos	Basada en la precaución: agente de riesgo	Uso de características azarosas como la persistencia y ubicuidad como aproximaciones en estimaciones de riesgo. Los instrumentos incluyen: <ul style="list-style-type: none"> • Contención • Tan bajo como sea razonablemente alcanzable y posible • El mejor control de tecnología disponible 	Discurso reflexivo
	Enfocada en la resiliencia: sistema que absorbe el riesgo	Mejora en la capacidad de manejar sorpresas: <ul style="list-style-type: none"> • Diversidad de medios para lograr beneficios deseados • Evitar la vulnerabilidad elevada • Permitir respuestas flexibles • Preparación para la adaptación 	

Tabla 5. Problemas de riesgos relacionados a la elevada ambigüedad social debido a desarrollos futuros desconocidos y diferencias en juicios de valor

Caracterización del conocimiento	Estrategia de gestión	Instrumentos apropiados	Participación de grupos de interés
Desconocido, problemas de riesgos inducidos por la mayor ambigüedad Marco: grandes nanosistemas y nanosistemas moleculares	Basada en el discurso	Aplicación de métodos de resolución de conflictos para lograr el consenso o tolerancia a los resultados de la evaluación de riesgo y la selección de opciones de gestión Integración de los grupos de interés en el logro del cierre del debate Énfasis sobre la comunicación y el discurso social	Discurso participativo

4.7. La situación de la nanotecnología en los países andinos

Las aplicaciones de la tecnología y el control de riesgos no podrán avanzar sin que exista una cierta capacidad instalada de investigación e innovación, dentro de un marco apropiado de políticas públicas.

Durante varias décadas, los países de América Latina han estado desarrollando su institucionalidad, definiendo políticas y planes en ciencia e innovación (C+I) y ejecutándolos con diferentes grados de éxito. Las políticas adoptadas permitieron llevar la ciencia y la tecnología a empresas y crear mayor confianza en las capacidades científicas locales en diferentes áreas productivas. Algunos planes fueron exitosos en la implementación de actividades que integraron los sectores público y privado estableciendo agendas comunes en áreas de prioridad.

A pesar de los logros, existen muchas limitaciones aún. Varios estudios han analizado las políticas, estrategias y planes establecidos, alcanzando una serie de conclusiones de diferente naturaleza que explican su limitado impacto: la falta de decisiones políticas reales, ausencia de fondos y de una cultura para la investigación e innovación (Velho, 2004; Albornoz, 2002).

En un estudio reciente (Gupta y Aguirre, 2006) se identificó que para los actores y los gobiernos involucrados en el diseño, puesta en marcha de políticas y planes, la ciencia y la innovación no fueron una prioridad durante la década de 1990. Muchos de ellos estaban más bien embarcados en la aplicación del nuevo paradigma económico de la liberalización de los mercados y la reducción de la intervención estatal. Hoy día, especialmente en muchos de los países más pequeños, la C+I todavía espera ser considerada como un instrumento de cambio. La falta de decisión política es citada como la causa más común del lento desarrollo de la C+I, aún en la presencia de políticas y planes.

Cuando esta decisión ha existido, se ha traducido rápidamente en importantes avances de investigación e innovación, mostrando la existencia de una masa crítica que bien utilizada puede producir resultados de impacto.

Otras limitaciones frecuentemente señaladas por los encuestados en el estudio citado sobre la aplicación de políticas y planes son la ausencia de participación del sector privado en su definición, la visión ofertista que todavía domina muchos planes y que contienen implícitamente un modelo lineal de ciencia e innovación, aunque se reconoce también que ciertos planes han transitan hacia una visión de la demanda. También importante es la falta de continuidad: muchos líderes de opinión sostienen que esta debería constituir una política de Estado, su ausencia usualmente resulta en cortes presupuestarios, cambios de personal y de orientación.

Al mismo tiempo, una opinión bastante generalizada es que los planes deberían ser mucho más realistas, detallados y flexibles. Es común encontrar planes con objetivos interminables, proyectos y programas que no pueden ser ejecutados en plazos cortos. Al mismo tiempo, pocos buscan nichos de oportunidad acordes con las capacidades nacionales y al grado de competitividad del país o el comportamiento de los mercados globales. Es importante notar que muchos planes carecen de suficientes detalles para inducir interés en los productores o usuarios. Un *benchmarking* y la construcción de cartas de tendencias son necesarios en la mayoría de casos.

Con referencia específica al desarrollo de la nanotecnología, existen algunos elementos importantes en las políticas adoptadas por los países andinos:

En Colombia, el año 2004, Colciencias seleccionó 8 áreas estratégicas para el desarrollo de la productividad y competitividad de la economía colombiana. Una de ellas fue materiales avanzados y nanotecnología. En 2005 se estableció el consejo nacional de nanociencia y nanotecnología, como una agrupación sin ánimo de lucro adscrita al IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) de Colombia y al IEEE Nanotechnology Council, orientado a participar conjuntamente con universidades, centros de investigación

y desarrollo, la industria y el gobierno en todas las actividades comprometidas con la nanociencia y nanotecnología en el país. Su misión es promover y generar tareas de formación, divulgación, investigación y desarrollo tecnológico en el área de la nanociencia y nanotecnología, así como facilitar espacios de participación mancomunada entre la academia, la industria y el Estado. El consejo se encuentra actualmente comprometido en las siguientes áreas de interés:

- Autoensamblado, replicación y control nanoescalar
- Cáncer y nanotecnología
- Nanoelectrónica y electrónica molecular
- Nanofotónica y espintrónica
- Nanomateriales
- Nanotecnociencia computacional
- Computación cuántica y molecular
- Nanorobótica
- Bionanotecnociencia
- Implicaciones éticas y sociales de la nanotecnociencia

Más recientemente se ha creado Nanocolombia, institución privada cuya misión es promover la inversión en empresas o *joint ventures* de nanotecnología.

En Ecuador, en 2005, la secretaría nacional de ciencia y tecnología (Senacyt), a través de la Vicepresidencia de la República, publicó el documento que contiene la política nacional de ciencia, tecnología e innovación para el periodo 2005-2010. Dentro de los objetivos de esta política, uno se refiere al financiamiento de las ciencias básicas y las ciencias de materiales, que incluyen a la nanotecnología.

En Perú, el plan nacional estratégico de ciencia, tecnología e innovación para la competitividad y el desarrollo humano para el periodo 2006-2021, incluye la manipulación y diseño de nanomateriales como un eje temático dentro del programa de materiales (Gutarra, 2007).

Los objetivos de este eje son controlar, manipular y diseñar materiales de escala nano con potencial uso en control ambiental, agricultura, medicina, energía, construcción, espintrónica y otras áreas prioritarias para el país. El impacto esperado en la ejecución de este componente del plan es el incremento de la inversión pública y privada en nanomateriales. Las líneas de acción comprenden:

- Desarrollo de nanomateriales metálicos, cerámicos, magnéticos, semiconductores o superconductores
- Crecimiento de monocapas moleculares
- Desarrollo de nanocápsulas y nanoportadores
- Diseño y construcción de transductores de baja dimensión
- Métodos computacionales para el diseño de nanoestructuras

En Venezuela se espera la conclusión de un estudio prospectivo para que el Ministerio de Ciencia y Tecnología defina una política y un plan de desarrollo de la nanotecnología sobre la base de las capacidades instaladas en diferentes instituciones académicas.

En los cuatro países existen capacidades de investigación y producción muy diversas. En Colombia se han identificado 34 grupos, mientras que en Perú apenas 17 investigadores, en Ecuador un grupo de quince y en Venezuela 92 investigadores. Las empresas que desarrollan o adquieren nanotecnología son todavía embrionarias, aunque algunos grupos de investigación ya han desarrollado prototipos y experiencias de aplicación en diversos sectores económicos y sociales.

4.8. Conclusiones

Existe un importante potencial a ser explorado en el desarrollo de la nanotecnología y de la convergencia que beneficie a las sociedades andinas en todos sus niveles económicos, por ello es importante considerar la urgencia de avanzar en la investigación y el monitoreo de estas a favor del mejor desempeño humano. Este enfoque es fundamental para transferir la importancia de la máquina al desarrollo del individuo y de esta manera evitar el caos tecnológico sobre un mundo donde crece la población, se explotan irracionalmente los recursos naturales y existen conflictos sociales.

Si los países andinos han de tomar ventaja de los avances de las tecnologías convergentes, y en particular de la nanotecnología, mediante la generación de conocimiento propio y la adquisición de aquel generado fuera, es necesario que existan políticas que guíen o promuevan la creación de capacidades para su dominio. Tales políticas deben considerar la necesidad de adelantar esfuerzos especiales para romper las barreras entre campos científicos y tecnológicos y para desarrollar nuevos recursos intelectuales y físicos. Particularmente, se deben considerar los siguientes puntos, sugeridos por Roco y Brainbridge (2001):

- La preparación de las organizaciones para los cambios que las tecnologías convergentes imponen requiere establecer metas de largo plazo para remodelarlas y hacerlas más efectivas bajo nuevas condiciones de trabajo
- Se deben ejecutar actividades que puedan ofrecer a cada individuo y a la sociedad en su conjunto la preservación de valores fundamentales tales como privacidad, seguridad, y responsabilidad moral. La consideración de las implicaciones humanas de las tecnologías convergentes deberá incluir un examen de consecuencias potenciales no esperadas de sus desarrollos, incluyendo cuestiones éticas y legales
- Es necesario desarrollar programas de educación interdisciplinaria para crear una nueva generación de científicos e ingenieros que puedan atravesar sus campos de estudio y colaborar con colegas de una variedad de especialidades. Para lograrlo, las instituciones educativas en todos los niveles deben realizar profundas reformas curriculares y reformas organizacionales para reestructurar la enseñanza de la ciencia y la ingeniería de tal manera que disciplinas anteriormente separadas puedan converger alrededor de principios comunes para entrenar la fuerza laboral del futuro
- Se debe lograr el establecimiento de redes de centros de investigación financiadas por una coalición de agencias gubernamentales, operadas por consorcios de universidades y corporaciones. Ello incluye la creación de facilidades, información e investigaciones que tengan múltiples aplicaciones, entre ellas, archivos de datos de infraestructura que emplean tecnología digital avanzada para servir un rango amplio de clientes
- La integración de las ciencias requerirá el establecimiento de una cultura compartida que se extienda a través de los campos de estudio existentes. Se deben establecer revistas interdisciplinarias, conferencias periódicas y asociaciones formales entre organizaciones profesionales
- Será necesario el desarrollo de un nuevo lenguaje técnico para comunicar los desafíos científicos y de ingeniería que no tengan precedentes basados en las matemáticas de sistemas complejos, física de estructuras a nanoescala y la lógica jerárquica de la inteligencia
- Se deben desarrollar formas de atender las preocupaciones éticas, legales y morales durante el proceso de investigación, desarrollo y difusión de tecnologías convergentes. Esto requerirá nuevos mecanismos para asegurar la representación del interés público en todos los proyectos NBIC importantes, incorporar educación ética y de ciencia-social en el entrenamiento de científicos e ingenieros y asegurar que los tomadores de decisiones políticas estén conscientes de las implicaciones científicas y morales de las cuestiones a las que se enfrentan

Las organizaciones gubernamentales deberán proveer liderazgo para coordinar el trabajo de otras instituciones y acelerar la convergencia, apoyando nuevos esfuerzos científicos multidisciplinarios. La comunidad científica tendrá que crear nuevas formas de entrenamiento interdisciplinario y comunicación, reduciendo las barreras que inhiban a los individuos a trabajar a través de disciplinas,

resaltar agresivamente las oportunidades de convergencia en sus conferencias, desarrollar lazos a una variedad de otras organizaciones técnicas y tratar cuestiones éticas relacionadas a desarrollos tecnológicos. A través de mecanismos como conferencias y publicaciones, las sociedades profesionales pueden plantar semillas de NBIC en organizaciones de aprendizaje, agencias de financiamiento y la sociedad en su conjunto.

Las organizaciones no gubernamentales que representan grupos de usuarios potenciales deben contribuir al diseño y prueba de tecnologías convergentes y recomendar prioridades de NBIC para maximizar los beneficios para sus diversos asociados. Fundaciones privadas deben invertir en investigación de NBIC en aquellas áreas que son consistentes con su misión particular. Los medios públicos deben aumentar su cobertura de alta calidad de la ciencia y la tecnología sobre la base del nuevo paradigma de convergencia, informando a los ciudadanos para que puedan participar en debates sobre cuestiones éticas tales como los efectos no esperados sobre igualdad social, políticas referidas a la diversidad y las implicaciones de transformación de la naturaleza humana.

Para optimizar sus esfuerzos de mejorar la gobernabilidad y definir políticas para enfrentar el desafío de la convergencia es necesario que los gobiernos, la academia y el sector productivo colaboren en la creación de una organización que pueda monitorear los avances y al mismo tiempo divulgarlos a un público menos especializado. Estos esfuerzos de difusión deben ser alentados en los países andinos.

Dado que no hay regulación de la actividad de investigación más allá de la relacionada con la evaluación de propuestas de investigación, los investigadores deben ejercitar su responsabilidad personal hacia temas como salud humana y seguridad ambiental. La autorregulación puede ser insuficiente para la gobernabilidad de la nanotecnología, particularmente si tomamos en cuenta la disminución de la credibilidad de científicos e ingenieros, que con frecuencia sacan ventaja económica de sus innovaciones a través de asociaciones con el sector público o privado. Esto refuerza la importancia de políticas públicas que regulen el sector. Las capacidades nacionales de evaluación de riesgos de la nanotecnología y de atención de posibles emergencias son hoy precarias o inexistentes y en esta dirección seguramente deberá ir una parte importante de los esfuerzos de promoción de las entidades gubernamentales.

Algunas organizaciones, en particular ONG, han señalado la necesidad de aplicar el principio precaucionario a la nanotecnología. El desafío más importante es encontrar el equilibrio entre el principio precaucionario aplicado por la evaluación sistémica de los riesgos de largo plazo y una aproximación ética de verdaderos beneficios de corto plazo. Más aún, si los países andinos han de aplicar este principio, deben considerar que requiere que los gobiernos tengan a su disposición recursos humanos y una infraestructura eficiente de investigación y de pruebas. La introducción del principio precautorio en la política es importante precisamente para decidir sobre la construcción de capacidades para su implementación. Cuando los ciudadanos y actores del desarrollo sientan que los gobiernos tienen tales capacidades, tendrán una mayor confianza en la información que reciben sobre las oportunidades, potenciales y riesgos de la nanotecnología. Tal confianza debe también ser construida alrededor del sistema de regulación.

Si bien existe un monitoreo y seguimiento continuo de los tópicos NBIC, en la mayoría de las comunidades científicas andinas no se han detectado trabajos orientados hacia la evaluación, alerta o formación de opinión en los decisores o menos aún dirigidos hacia la ciudadanía. En los países andinos no existe una estructura oficial en el aparato del Estado que defina políticas o acciones de regulación y control relacionadas con las NBIC. Existen varios roles potenciales que los gobiernos pueden asumir en materia de políticas:

- Apoyar la I+D en temas ambientales, de salud y seguridad, la educación en cuestiones sociales, políticas, éticas, legales y de desarrollo humano en el más largo plazo e integrar los resultados de estas experiencias en la planificación de grandes proyectos de I+D y de inversiones en nanotecnología
- Preparar e implementar un nuevo enfoque de gobernabilidad del riesgo basado en correcciones adaptativas de la sociedad. En el corto plazo y cuando sea adecuado, adaptar la legislación existente al desarrollo de la nanotecnología

- Construir capacidades para enfrentar accidentes y otras situaciones inesperadas
- Proporcionar incentivos para disminuir los riesgos; por ejemplo, desarrollar aplicaciones de nanotecnología que reemplacen materiales contaminantes con sustitutos verdes
- Preparar planes de largo plazo y escenarios para el desarrollo de la nanotecnología, medidas anticipatorias de gobernabilidad del riesgo sobre esta base
- Evaluar la relación entre regulaciones e innovación
- Apoyar estudios sobre las implicaciones de la nanotecnología sobre la legislación nacional existente, códigos profesionales, nomenclatura y estándares, derechos humanos y acuerdos internacionales
- Encarar el acceso igualitario a los beneficios de la nanotecnología y las cuestiones de equidad en la sociedad
- Preparar estudios longitudinales sobre percepción pública
- Desarrollar una estrategia de comunicación para mantener a la industria, usuarios finales y organizaciones civiles informadas acerca de desarrollos representativos, aspectos éticos, humanos y sociales de la nueva tecnología
- Considerar establecer un rol de *clearing house information* para las organizaciones gubernamentales
- Adoptar procesos de monitoreo y control transparentes con insumos públicos
- Estimular las colaboraciones internacionales en la gobernabilidad del riesgo

El avance de la ciencia, la tecnología y la innovación son condiciones necesarias pero no suficientes para el desarrollo. Los mecanismos de gobernabilidad establecidos para manejar políticas en el siglo XX deben cambiar. Un esfuerzo institucional y organizacional significativo es necesario para tener un eficiente sistema de ciencia e innovación que encierre un desarrollo en el uso de la nanotecnología. La institucionalización debe tener lugar en los más altos niveles políticos, de tal manera que efectivamente pueda manejar recursos, definir direcciones y proveer continuidad.

No solamente esfuerzos institucionales son necesarios sino políticas que se dirijan al cambio, particularmente aquellas que se enfoquen prioritariamente en el proceso que actualmente sucede a nivel global, tomando conocimiento de él mientras contribuye a su desarrollo.



5. Situación de la nanotecnología en el Perú

Abel Gutarra¹

Abstract

En el presente artículo se realiza una cartografía sobre el estado de la cuestión de la nanotecnología a dos niveles. El primero es la situación global de la nanotecnología en el Perú; para ello se presenta un inventario completo de instituciones, iniciativas, programas, líneas de investigación e investigadores relacionados a temas y aplicaciones nanotecnológicas; en el segundo nivel se presentan los avances en temas de nanotecnología en los países más desarrollados del continente. Finalmente, se propone una serie de medidas de trabajo conjunto e innovación entre las instituciones nacionales y los actores internacionales identificados.

5.1. Introducción

La nanotecnología en el Perú y en todo el mundo es un fenómeno reciente. Desde la década de 1990, un reducido número de investigadores universitarios ha seguido su evolución activamente en el ámbito de las ciencias naturales y la ingeniería. Transcurridos los años, la palabra nanotecnología tiene ahora una mayor circulación en el lenguaje cotidiano, a veces es usada sobredimensionando las capacidades de esta ciencia de generar bienestar, otras para atribuirle efectos nocivos incontrolables. Para evitar estos extremos, el papel de los investigadores es fundamental, porque además de tener la competencia académica para tratar el tema, deben ser una fuente de información certera y fundamentada para el público no especialista.

Una de las aplicaciones más importantes que se avizora para la nanotecnología es la mejora de la calidad del agua de consumo humano y la sanidad asociada a su distribución, almacenamiento y disposición final. En el Perú, 25 % de la población (6.5 millones de habitantes) no cuenta con agua potable y 43 % (11 millones) no tiene servicios sanitarios, según datos del CONAM. A esto debe agregarse que los últimos años el país está viviendo una expansión industrial y minera que previsiblemente producirá un incremento de las aguas residuales.

¿Qué pasos debemos tomar para conformar grupos de investigación para el tratamiento de agua usando nanotecnologías? Desde un punto de vista técnico, el paso inicial es diferenciar las fuentes de contaminación más importantes por su impacto social y cobertura. En la zona central del país predomina la contaminación del agua con metales pesados debido a la actividad minera, en la amazonía predominan los restos de hidrocarburos, alto contenido de microorganismos patógenos en las zonas periurbanas y residuos de fertilizantes en las zonas de agricultura intensiva. ¿Qué tipos de nanomateriales podemos emplear para retener estos contaminantes?, ¿es posible fabricarlos localmente? Una vez que se conozca el tipo de contaminante y el tipo de material adecuado para retenerlo o eliminarlo, ¿cuán viable será su implementación para el usuario final?

Estas son algunas de las preguntas que debemos plantearnos. La información presentada en este documento proviene de los investigadores que se dedican a la nanotecnología en el Perú y describe de una manera concisa las líneas de investigación desarrolladas por cada grupo, indicando los recursos humanos y equipamiento disponibles. Se incluyen en la relación a algunos grupos o laboratorios que están desarrollando proyectos vinculados al agua, aunque no apliquen nanotecnologías. Su participación es importante debido a que permitirán contrastar las metodologías establecidas con las nuevas y por otro lado, por su competencia para evaluar la calidad del agua, lo que permitirá medir la eficiencia de los métodos propuestos.

1 Doctor en ciencias por la Universidad Nacional de Ingeniería y la Universidad de Uppsala (Suecia), jefe del Laboratorio de materiales nanoestructurados de la UNI, director de la escuela de ingeniería física y miembro titular de la Academia nacional de ciencia y tecnología.



Se han ubicado también algunos grupos latinoamericanos de Brasil, México, Argentina y Chile que trabajan en temas afines y que podrían ser colaboradores estratégicos para la elaboración de proyectos. Finalmente, se proponen algunos temas de discusión que conducen a la integración multidisciplinaria de los investigadores en torno a las posibilidades de aplicar la nanotecnología al tratamiento del agua.

5.2. Principales actores de la nanotecnología en el Perú

Instituciones que promueven la nanotecnología en el Perú

Consejo nacional de ciencia tecnología e innovación tecnológica (Concytec)

Sitio web: <http://portal.concytec.gob.pe>

Organismo rector de la ciencia y tecnología en el Perú. Fortalece el sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación tecnológica (Sinacyt), promoviendo la vinculación del estado, la academia, empresas y la sociedad. Tiene programas de estímulo individual para investigadores destacados y convoca a concurso de proyectos financiados en dos modalidades. El año 2006 diseñó el plan nacional de ciencia, tecnología e innovación 2006-2021, donde se establece el programa de materiales, y dentro de él, como eje temático, la manipulación y diseño de nanomateriales. La actual administración considera el gran valor estratégico que tiene la formación de investigadores y el reforzamiento de los grupos que trabajan en nanotecnologías por lo que está buscando mecanismos que prioricen la inversión de los fondos regulares y la gestión de nuevos fondos.

Academia nacional de ciencia y tecnología (ANCYT)

Sitio web: <http://www.ancyt.org.pe>

Tiene como finalidad fomentar la ciencia y tecnología en el Perú con énfasis en líneas de investigación que conducen a esfuerzos multidisciplinarios. Una de sus actividades más importantes es la realización de un foro anual en el que se exponen los temas científicos o técnicos más relevantes. En marzo de 2005 organizó un seminario sobre nanotecnología con la participación de investigadores nacionales que expusieron sus avances. El 25 y 26 de enero de 2006 realizó un foro anual con el tema Nanotecnología: desarrollo y perspectivas de los biosensores y nanomateriales en el país.

Sociedad peruana de física (Soperfi)

Sitio web: <http://www.soperfi.org.pe>

Es la institución más representativa de los físicos del país. Tiene como objetivos fomentar el desarrollo de la investigación científica en el campo de la física, promover el mejoramiento de la enseñanza de esa disciplina en todos los niveles, divulgar su conocimiento, procurar el reconocimiento de la profesión del físico y participar en la solución de los grandes problemas nacionales. Uno de los eventos más representativos de la Soperfi son los simposios nacionales, en los que los físicos nacionales e invitados internacionales exponen su producción como investigadores así como los avances más notables en esta ciencia a nivel mundial. El más reciente fue el XV simposio peruano de física, realizado en Piura, donde se presentaron nueve exposiciones sobre nanotecnologías. La mayoría de ellas referidos a nanomateriales.

Sociedad química del Perú (SQP)

Sitio web: <http://www.sqperu.com>

La Sociedad química del Perú es una institución científica sin fines de lucro fundada el año 1933 que agrupa a todos los profesionales relacionados a la química: químicos, ingenieros químicos, químicos farmacéuticos, biólogos, bioquímicos, que, de acuerdo a su área de interés están agrupados en las divisiones académicas de química orgánica, química analítica, química de los alimentos, química industrial, educación química, fisicoquímica, química inorgánica, química de productos naturales y toxicología y ambiente.

Sociedad peruana de materiales (Sopermat)

Recientemente creada, agrupa a nivel nacional a los investigadores dedicados a la ciencia de materiales. Su actividad más importante es la realización de congresos nacionales de ciencia y tecnología de materiales a realizados cada dos años. En el cuarto congreso, realizado el año 2006, se consideró un comité técnico en nanotecnología.

Instituto nacional de enfermedades neoplásicas (INEN)

Sitio web: <http://www.inen.sld.pe>

El INEN diagnostica y trata a los pacientes con cuadros oncológicos. Controla técnica y administrativamente, a nivel nacional, los servicios de salud vinculados a las enfermedades neoplásicas y realiza actividades de investigación y docencia. En su estructura organizativa cuenta con una oficina ejecutiva de apoyo a la investigación y docencia especializada. Creada en el año 1994, norma la política de investigación que se lleva a cabo en el instituto tanto en investigación básica como en investigación clínica en todas las áreas de oncología. Ha realizado concursos de investigación por 5 años consecutivos (2001-2006). El INEN forma parte de un programa de maestría en física médica con la Universidad Nacional de Ingeniería.

Instituciones y grupos que desarrollan nanotecnología o nanotecnología para agua y saneamiento en Perú

La nanotecnología, como disciplina, se inicia por las instituciones tecnológicas con capacidad de investigación. Sus receptores iniciales fueron las universidades, en especial aquellas con programas de ciencias básicas como física, química y biología; ingenierías como mecánica, materiales, química, electrónica, ambiental y bioingenierías; y medicina y ciencias biológicas. Estas últimas han empezado a incorporar proyectos de investigación en nanotecnología. Los usos médicos se perfilan como una de las aplicaciones de mayor impacto, tanto por las consecuencias directas sobre la salud como por los volúmenes monetarios que movilizarán a mediano plazo.

Pontificia Universidad Católica del Perú

Dirección académica de investigación

Sitio web: <http://www.pucp.edu.pe/>

La DAI se encarga de incentivar, financiar, coordinar y difundir los trabajos de investigación de la universidad. Financia las investigaciones a través de diversas modalidades: concursos anuales, proyectos especiales, proyectos cofinanciados y apoyo a la iniciación en investigación. Propicia la definición de líneas de investigación que son evaluadas permanentemente con la finalidad de que puedan mantener la categoría de los lineamientos institucionales.

Investigación en nanotecnología:

Laboratorio de metalurgia extractiva (LME)

Departamento de ingeniería

Lic. Maribel Guzmán (mguzman@pucp.edu.pe)

2 investigadores doctores

1 investigador master

1 tesista de posgrado

Tesistas de pregrado

1 investigador con título

Publicaciones:

Guzmán, M.; Delplancke, J-L.; Long, J.; Delwiche, J.; Hubin-Franskin, M.; Grandjean, F. «Morphologic and Magnetic Properties of Pd_{100-x}Fe_x Nanoparticles Prepared by Ultrasound Assisted Electrochemistry». En: *Journal of Applied Physics*. 92(5). 2002. pp. 2634-2640.

Líneas de investigación:

- Nanomateriales: nanopartículas metálicas
- Metalurgia: electroquímica aplicada a materiales

Investigación en nanotecnología para agua y saneamiento:

Laboratorio de investigación 4 (LIN4)

Departamento de ciencias, sección química

Dra. Rosario Sun Kou (msun@pucp.edu.pe)

1 investigador doctor

1 investigador master

5 tesistas de posgrado

Tesistas de pregrado

4 investigadores con título

Líneas de investigación:

- Materiales adsorbentes (arcillas, carbones activados)
- Tratamiento de aguas industriales
- Retención de metales pesados en efluentes mineros

Desde hace varios años el LIN4 trabaja en la preparación de catalizadores para el control medioambiental. Ha desarrollado nuevos productos con énfasis en materiales adsorbentes como arcillas y carbones activados. En particular dominan la técnica de pilareado de arcillas, que consiste en incrementar el espacio interlamilar de la estructura, por la formación de óxidos en forma de pilares separadores. Este tipo de arcilla incrementa notablemente su nanoporosidad, y por lo tanto su área específica. Los contaminantes tratados

con más frecuencia son metales (Cr, Pb, Cu, Zn) de los efluentes industriales de curtiembres, industrias galvánicas y relaves mineros. Respecto a contaminantes orgánicos, reportan varias aplicaciones en la retención de colorantes, surfactantes y otros compuestos orgánicos presentes en efluentes textiles.

Publicaciones:

- Delgadillo, S.; Sun, M.; Gutarra, A. «Empleo de arcillas modificadas para la retención de surfactantes aniónicos». En: *Revista de la Sociedad química del Perú*. 72(2). 2006. pp. 64-73.
- Gutarra, A.; Tuesta, G.; Veliz, K.; Sun, M. «Tratamiento de efluentes de la industria textil por adsorción sobre arcillas y degradación fotocatalítica». En: *Tecnia*. 15(1). 2005. pp. 31-40.
- Tuesta, G.; Vivas, M.; Sun, M.; Gutarra, A. «Modificación química de arcillas y su aplicación en la retención de colorantes». En: *Revista de la Sociedad química del Perú*. 71(1). 2005. pp. 26-36.
- Valverde, J.; De Lucas, A.; Dorado, F.; Sun, M.; Sanchez, P.; Asencio, I.; Garrido, A.; Romero, A. «Characterization and Catalytic Properties of Titanium-Pillared Clays Prepared at Laboratory and Pilot Scale: A Comparative Study». En: *Industrial and Engineering Chemistry Research*. 42(12). 2003. pp. 2783-2790.
- Sun, M.; Mendioroz, S.; Salerno, P.; Muñoz, V. «Catalytic Activity of Pillared Clays in Methanol Conversion». En: *Applied Catalysis*. 240(1). 2003. pp. 273-285.
- Sun, M.; Mendioroz, S.; Salerno, P.; Muñoz, V. «The Application of Electron Spin Resonance Spectroscopy to Studies on Copper (II) Doped Pillared Clays». En: *Spectroscopy Letters*. 35(4). 2002. pp. 565-580.
- Hernández, R.; Rojas, J.; Sun, M. «Empleo de arcillas modificadas en el tratamiento de efluentes galvánicos». En: *Boletín de la Sociedad química del Perú*. 67(1). 2001. pp. 22-32.

Laboratorio 3 (LN3)

Departamento de ciencias, sección química
Dra. Nadia Gamboa (ngamboa@pucp.edu.pe)
2 investigadores doctores
1 investigador master
6 tesis de posgrado
4 tesis de pregrado
1 investigador con título

Líneas de investigación:

- Contaminación de aire, agua y suelos
- Evaluación de impacto ambiental
- Gestión de residuos
- Cambio climático

Publicaciones:

- Esparza, E.; Gamboa, N. «Contaminación debida a la industria curtiembre». En: *Revista de química PUCP*. 15(1). 2001. pp. 41-63.
- Carbajal, G.; Gamboa, N. «Elementos tóxicos en el curso superior del río Rímac: cobre, cromo y níquel». En: *Libro de resúmenes. XXIV congreso latinoamericano de química*. Lima: s/e, 2000.
- Avelino, C.; Gamboa, N. «Elementos tóxicos en el curso superior del río Rímac: cadmio, plomo y zinc». En: *Libro de resúmenes. XXIV congreso latinoamericano de química*. Lima: s/e, 2000.

Proyectos realizados:

- *Estudio químico de los sedimentos de dos lagos antárticos en la estación Machu Picchu, isla rey Jorge, Antártica*. Ayala, K.; Gamboa, N.; Tavares, C.; Urrutia, R.
- *Evaluación de la contaminación producida por una industria curtiembre*. Romero, D.; Gamboa, N.
- *Degradación fotolítica de alquilbencilsulfonato (2 fenil C12 LAS)*. Visitación, L.; Gamboa, N.
- *Elementos tóxicos en el curso superior del río Rímac*. Gamboa, N.; Carbajal, G.; Matos, M.; Alcarraz, T.; Avelino, C.; Sáenz, J.; Tavares, C.

Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH) Vicerrectorado de investigación (VI)

Sitio web: <http://www.upch.edu.pe/vrinve/index.asp>

El vicerrectorado de investigación propone la política general de investigación de la universidad, promueve la realización de proyectos a través de la asignación de fondos provenientes de la universidad y gestiona la obtención de fondos de cooperación. Estimula la investigación con una variedad de fondos concursables, becas y premios en líneas específicas y establece la categoría de profesor investigador.

Investigación en nanotecnología:

Unidad de bioinformática y biología computacional (UBBC)

Facultad de ciencias y filosofía

Dr. Mirko Zimic (zimic@upch.edu.pe)

Líneas de investigación:

- Biofísica del ADN y su relación con la evolución molecular
- Mecanismo de resistencia a pirazinamida en *Mycobacterium tuberculosis*
- Diseño de vacunas multiepitópicas de fusión para *Taenia solium* y virus influenza tipo A
- Alosterismos en hemoglobina a nivel dimérico
- Repotenciación de inhibidores de RNA polimerasa bacteriana
- Rifaximina

Publicaciones:

- Zimic, M.; Guerra, J.; Arévalo, D. «DNA Thermodynamic Pressure: A Potential Contributor to Genome Evolution». En: *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*. 96(Sup 1). 2002. pp. 15-20.
- Oberhelman, R.; Gilman R.; Sheen P.; Córdova J.; Taylor, D.; Zimic, M.; Meza, R.; Pérez, J.; LeBron, C.; Cabrera, L.; Rodgers, F.; Woodward, D.; Price, L. «Campylobacter Transmission in a Peruvian Shantytown: A Longitudinal Study Using Strain Typing of Campylobacter Isolates from Chickens and Humans in Household Clusters». En: *Journal of infectious diseases*. 187(2). 2003. pp. 260-269.
- Sheen, P.; López, C.; Méndez, M.; Calla, J.; Peña, L.; Zimic, M. «Aspectos moleculares de la resistencia a pirazinamida en *Mycobacterium tuberculosis*. Implicancias para el desarrollo de nuevos métodos de diagnóstico y terapéutica». En: *Revista peruana de neumología*. 48(2). 2004. pp. 111-116.
- Pelly, T.; Santillán, C.; Gilman, R.; Cabrera, L.; García, E.; Vidal, C.; Zimic, M.; Moore, D.; Evans, C. «Tuberculosis Skin Testing, Energy and Protein Malnutrition in Peru». En: *International journal of tuberculosis and lung disease*. 9(9). 2005. pp. 977-984.

Investigación en nanotecnología para agua y saneamiento:

Laboratorio de biotecnología ambiental (LBA)

Facultad de ciencias y filosofía

Dra. Jasmin Hurtado (jehurt@upch.edu.pe)

El laboratorio aplica biotecnologías para el control de la contaminación generada por las industrias minera y petrolera.

Líneas de investigación:

- Lixiviación bacteriana y estudios básicos en microbiología, bioquímica y genética de microorganismos lixiviantes o generadores de aguas ácidas
- Bioremediación de aguas y suelos de cianuro, cromo, mercurio, selenio y petróleo
- Pruebas ecotoxicológicas

Publicaciones:

- Núñez, M.; Hurtado, J. «Toxicidad aguda de cianuro sobre *Daphnia magna strauss* (Cladocera daphniidae) desarrollada en medio de cultivo modificado». En: *Revista peruana de biología*. 12(1). 2005. pp. 165-170.
- Hurtado, J. «Reversible Loss of Arsenopyrite Oxidizing Capabilities by *Acidithiobacillus ferrooxidans* is Associated with Swarming Phenotype and Presence of ISaFe1». En: *Biohydrometallurgy*. En prensa.
- Rivera J.; Hurtado J. «A Solid Culture Medium of Ferrocyanide Degrading Microorganisms». En: Ciminelli, V.; García, O. (Eds). *Biohydrometallurgy: Fundamentals, Technology and Sustainable Development*. Oxford: Elsevier, 2001. pp. 377-383.

Unidad de biominería y medio ambiente (UBMA)

Facultad de ciencias y filosofía

Dr. José Luis Bauer (jbauer@upch.edu.pe)

La UBMA aplica biotecnologías a la minería, medio ambiente e industria.

Líneas de investigación:

- Fisiología de microorganismos autotróficos
- Biooxidación, biolixiviación, bioremediación
- Metabolitos secundarios, antimicrobianos

Publicaciones:

- Rabelo, P.; Requena, M.; Bauer, J.; Palomino, J. «Evaluación de la toxicidad de aguas impactadas por efluentes de relaves mineros mediante el test del desarrollo de raíces de *Allium cepa* (cebolla)». En: *Ingeniería sanitaria y ambiental*. 110(65). 2002. pp. 61-67.
- Rojas, R.; Bustamante, B.; Bauer, J.; Fernández, I.; Albán, J.; Lock, O. «Antimicrobial Activity of Selected Peruvian Medicinal Plants». En: *Journal of Ethnopharmacology*. 88(2-3). 2003. pp. 199-204.
- Rojas, R.; Doroteo, V.; Bustamante, B.; Bauer, J.; Lock, O. «Antimicrobial and Free Radical Scavenging Activity of *Gentianella nitida*». En: *Fitoterapia. Revista di studi ed applicazioni delle piante medicinali*. 75(7-8). 2004. pp. 754-757.

Universidad Nacional de Ingeniería

Instituto general de investigación (IGI)

Sitio web: <http://igi.uni.edu.pe>

El IGI es la unidad central de ejecución y coordinación del trabajo científico y de la investigación multidisciplinaria en la universidad. El IGI da financiamiento a los proyectos a las investigaciones propuestas y seleccionadas por concurso en los institutos de investigación de cada facultad. El IGI establece líneas prioritarias de investigación de la universidad y las promueve con asignaciones de fondos preferenciales.

Investigación en nanotecnología:

Laboratorio de películas delgadas (LPD)

Sitio web: <http://fc.uni.edu.pe/pd>

Facultad de Ciencias

Dr. Walter Estrada (westrada@uni.edu.pe)

2 investigadores doctores

2 investigadores master

2 tesis de posgrado

4 tesis de pregrado

2 investigadores con título

Sus primeros trabajos estuvieron dedicados a la obtención de recubrimientos delgados (100 a 1 000 nm) de óxidos metálicos de NiO, SnO₂, Zn y WO₃ para aplicaciones en dispositivos ópticos y sensores de gas. Para la fabricación de las películas utilizaron las técnicas de spray-pirólisis y sol-gel.

Líneas de investigación:

- Celdas fotoelectroquímicas, a cargo del Dr. Hugo Alarcón (halarcon@uni.edu.pe)

Han desarrollado y evaluado celdas solares fotoelectroquímicas que usan nanopartículas de TiO₂ soportadas en un electrodo conductor transparente y sumergidas en un electrolito líquido. Las nanopartículas de TiO₂ actúan como generadoras de fotocorriente producida por la absorción de radiación solar. Estudiaron el efecto del dopaje con colorantes orgánicos y óxidos para mejorar la eficiencia de las fotoceldas. A diferencia de las celdas sólidas de semiconductores de alta pureza, las celdas fotoelectroquímicas son de menor costo de fabricación. Actualmente se vienen realizando investigaciones para mejorar su eficiencia de conversión y su durabilidad.

- Síntesis y caracterización de nanopartículas, a cargo del Dr. Hugo Alarcón y Lic. Yuri Zenitagoya (yzenit@yahoo.com)

Sus investigaciones están centradas en la obtención de nanopartículas. Empleando la técnica sol-gel en medios acuosos, se han obtenido nanopartículas de óxido de cobre. Las nanopartículas de óxido de hierro fueron obtenidas a partir de una mezcla de cloruros de Fe³⁺ y Fe²⁺, en agua, bajo un control cuidando el pH y estabilizando la solución con surfactantes. El tercer tipo de nanopartículas que fabrica el LPD son de óxido de hierro-cobalto Fe₂CoO₄, que se obtienen a partir de una hidrólisis en medio básico agregando NaOH sobre una solución de NaNO₃, FeCl₂ y Co(NO₃)₂ en una atmósfera de N₂.

Publicaciones:

- Alarcón, H.; Hedlund, M.; Johansson, E.; Rensmo, H.; Hagfeldt, A.; Boschloo, G. «Modification of Nanostructured TiO₂ Electrodes by Electrochemical Al³⁺ Insertion: Effects on Dye-Sensitized Solar Cell Performance». En: *Journal of Physical Chemistry*. 111(35). 2007. pp. 13267-13274.
- Alarcón, H.; Boschloo, G.; Mendoza, P.; Solís, J.; Hagfeldt, A. «Dye-Sensitized Solar Cells Based on Nanocrystalline TiO₂ Films Surface Treated with Al³⁺ Ions: Photovoltage and Electron Transport Studies». En: *Journal of Physical Chemistry*. 109(39). 2005. pp. 18483-18490.
- Alarcón, H.; Hagfeldt, A.; Mendoza, P.; Gómez, M. «Celdas solares basadas en películas de dióxido de Titanio sensibilizado y modificado con óxido de Aluminio». En: *Tecnia*. 14(1). 2004. s/p.

Grupo de materiales nanoestructurados (GMN)

Sitio web: <http://fc.uni.edu.pe/gmn>

Facultad de ciencias
Dr. Abel Gutarra (agutarra@uni.edu.pe)
2 investigadores doctores
2 investigadores master
1 tesista de posgrado
4 tesistas de pregrado
Investigadores con título

El GMN trabaja en la obtención o modificación de materiales porosos, monocapas de moléculas orgánicas para biosensores y fabrica películas delgadas para el estudio de magnetorresistencia.

Líneas de investigación:

- Silicio poroso

El silicio poroso se obtiene a partir del ataque electroquímico de un electrodo de silicio monocristalino en un electrolito de HF/etanol. Controlando la corriente, concentración del electrolito y el tiempo, se obtiene una estructura nanoporosa en la superficie del silicio que adquiere propiedades fotoluminiscentes en el rango visible. Se está ensayando el uso de estos materiales para la detección de contaminantes, ya que al adsorberse en la superficie porosa, cada compuesto tiene una coloración fotoluminiscente única.

- Filtros de arcilla

Las arcillas del tipo esmectita son modificadas químicamente por un proceso llamado activación termoácida que consiste en la disolución parcial de los metales que se encuentran en la estructura octaédrica de la arcilla. Este proceso produce una carga en exceso en la superficie de las partículas de arcilla que le confieren gran capacidad adsorbente. Además, la activación origina la formación de nanoporos y modifica las distancias interplanares de la arcilla cuyo promedio es de 1.5 nm. Han desarrollado una técnica para fabricar filtros compactos de arcilla que pueden ser reutilizados. En otra aplicación, los filtros han sido aplicados para la retención de microtoxinas en alimento avícola.

- Magnetorresistencia

El LMN sintetizó manganitas $\text{La}_x\text{Sr}_{1-x}\text{MnO}_4$ por el método de citratos y evaluó su magnetorresistencia colosal y propiedades de transporte electrónico a diferentes temperaturas. Recientemente, en colaboración con el Instituto Balseiro, han fabricado películas delgadas de permalloy (~20nm) y evaluado sus propiedades magnéticas por medio de un magnetómetro de efecto Kerr construido para este fin.

- Biosensores

El desarrollo de biosensores está basado en el principio inmunológico según el cual el acople de antígeno-anticuerpo es un proceso específico y muy eficiente que permite detectar la presencia de una biomolécula (o microorganismo) particular, en muy bajas concentraciones, en el medio líquido. Para convertir esta reacción química en una señal eléctrica, se inmoviliza una de las biomoléculas en un dispositivo electrónico conocido como ISFET (*Ion Sensitive Field Effect Transistor*). Cuando se produce el acople hay un reordenamiento de carga en las inmediaciones del sustrato que lo polariza y activa el ISFET. El tema de biosensores ha sido abordado desde el punto de vista instrumental, con el diseño y construcción de la parte electrónica (filtros, electrodos, amplificadores, adquisición de software, etc.) y por otro lado la inmovilización de biomoléculas sobre la superficie de semiconductores, como silicio o nitruro de silicio (Si_3N_4) que constituyen la parte sensible del ISFET. Se han aplicado también técnicas de simulación computacional, específicamente de dinámica molecular, para determinar la variación del potencial en la interfase líquida del sustrato por la inmovilización de proteínas. En particular, se han obtenido buenos resultados inmovilizando inmunoglobulina sobre un ISFET de Si_3N_4 .

- Microscopías con sondas de barrido (SPM)

Se ha iniciado el desarrollo del proyecto *Construcción de un microscopio de fuerza atómica con sonda diapasón* con fondos del Concytec.

Publicaciones:

- Cava, G.; Dávila, J.; Sotelo, J.; Zimic, M.; Silva, C.; Gutarra, A. «ISFET-based Immunosensors: New Approaches». Montevideo: Fifth Iberoamerican Congress of Sensors, 2006.
- Cava, G.; Dávila, J.; Sotelo, J.; Zimic, M.; Silva, C.; Gutarra, A. «Atomistic Modeling of the Effect of the Protein Adsorption on the (100) MgO Surface». En: *Reviuni*. 10(1). 2006. pp. 58-61.
- Monteblanco, N. *Efecto Kerr magneto-óptico de superficie en películas delgadas de permalloy Ni₈₁Fe₁₉*. Tesis de licenciatura para obtener el grado de ingeniero en física. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2007.
- Fernández, R.; Monteblanco, N.; Sánchez, H.; Ochoa, R.; Gutarra, A. «Estudio de magnetorresistencia colosal y efecto Hall en la manganita La_{0,8}Sr_{0,2}MnO₃». En: *Reviuni*. 10(1). 2006. pp. 53-57.
- Inga, J. *Fabricación de cerámicos porosos adsorbentes a base de arcillas para la retención de contaminantes en efluentes industriales*. Tesis de licenciatura para obtener el grado de ingeniero en física. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2008.

Laboratorio de Sputtering (LS)

Facultad de ciencias

Dr. Arturo Talledo (arturo@uni.edu.pe)

Este laboratorio fabrica recubrimientos delgados. El término *sputtering*, a veces traducido como pulverización catódica, designa una técnica para fabricar recubrimientos metálicos, cerámicos o dieléctricos usando descarga de plasma en una cámara de vacío. Mediante esta técnica el laboratorio ha obtenido películas de cerámicos de alta dureza sobre superficies de herramientas de corte, con el fin de aumentar el tiempo de vida útil de estos instrumentos. Dentro de las aplicaciones en nanotecnología, han depositado nanopartículas de plata en una matriz dieléctrica para estudiar la resonancia por plasmones superficiales. Estos materiales tienen grandes posibilidades de uso en biosensores. El *sputtering* es muy versátil y permite obtener películas delgadas desde algunos nanómetros de espesor hasta varios micrómetros. Esto ha permitido al laboratorio fabricar películas delgadas dieléctricas para filtros ópticos interferenciales y electrodos para microbaterías recargables con Li⁺ como catión de carga y óxido de vanadio como matriz.

Publicaciones:

- Talledo, A.; Vásquez, D.; López, A. *Resonancia de plasmón superficial en nanocompuestos metal dieléctrico*. <http://rpo.uni.edu.pe/programa/resumenes-rpo/opticanano.doc> (visto por última vez: 12 de junio de 2009).
- Talledo, A.; Valdivia, H. «Investigation of Oxide (V₂O₅) Thin Films as Electrodes for Rechargeable Microbatteries Using Li». En: *Vacuum, Surfaces and Films*. 21(4). 2003. pp. 1494-1499.

Laboratorio de química de materiales aplicados al ambiente (LQMA)

Facultad de ciencias

Dr. Gino Picasso (gpicasso@posta.unizar.es), Lic. Patricia López (patri@uni.edu.pe)

1 investigador doctor

Investigadores master

1 tesista de posgrado

2 tesistas de pregrado

Investigadores con título

El LQMA desarrolla catalizadores para la descontaminación de compuestos orgánicos volátiles. Usa soportes de alúmina y óxidos de hierro. Actualmente están trabajando en aplicaciones de arcillas pilareadas como soporte de catalizadores para la recontaminación de efluente industriales y en la fabricaciones de membranas.

Publicación:

- Picasso, G.; Luciani, J. «Hidrogenación del crotonaldehído sobre catalizadores de Ir soportados en titanía, ceria y gamma-alúmina en un reactor continuo». En: *Revcuni*. 10(1). 2006. pp. 46-52.

Grupo de modelado y simulación multiescala (GMSM)

Sitio web: <http://bionanouni.com/members.html>

Dr. Alberto Coronado (am.coronado@gmail.com)

El GMSM tiene como objetivo el estudio de sistemas biológicos usando técnicas computacionales. Mediante simulaciones es posible predecir el comportamiento de diferentes biomoléculas, en especial proteínas, en sus entornos biológicos. Los resultados obtenidos se orientan a la prevención de enfermedades tan diversas como el cáncer, desordenes cardíacos, neuronales, infecciones viales, osteoporosis, etc. Es importante resaltar que el tamaño de las principales biomoléculas (proteínas y ácidos nucleicos), es de algunos nanómetros, por ello su relevancia para las nanotecnologías. El GMSM empezó realizando investigaciones en superficies de materiales inorgánicos. Actualmente cuatro de sus integrantes siguen estudios de posgrado en nanociencia en universidades norteamericanas.

Líneas de investigación:

- Propiedades mecánicas de proteínas
- El gen eliminador del cáncer
- Propiedades mecánicas y microestructurales de huesos sintéticos

Publicaciones:

- Coronado, A.; Trindade, M.; Sampaio, R. «Frequency-dependent Viscoelastic Models for Passive Vibration Isolation Systems». En: *Shock and Vibration*. 9 (4-5). 2002. pp. 253-264.
- Coronado, A.; Huang, H. «Facet-facet Barriers on $\text{Cu}_{(111)}$ surfaces for Cu dimmers». En: *CMES*. 10(1). 2005. pp. 39-44
- Coronado, A. «Optimal Cluster Configurations and Strain Dependence of the Activation Energies on $\text{Cu}_{(111)}$ Surfaces». En: *Tecnia*. 16(1). 2006. pp. 35-40.
- Saavedra, H.; Coronado, A. «Modal Analysis of the C-terminal Helix of the F1-ATP Synthase Gamma Subunit». En: *Tecnia*. 16(1). 2006. pp. 51-55.
- Aguilar, B.; Coronado, A. «Diffusion Mechanisms for Trimers on $\text{Ag}_{(111)}$ Surfaces and Across Facet-facet Edges». En: *Revcuni*. 10(1). 2006. pp. 42-45.
- Aguilar, B.; Canales, J.; Coronado, A.; Huang, H. «Double Rotation Mechanism for Small Clusters Diffusion on $\text{Cu}_{(111)}$ Surfaces». En: *Surface Science*. 601. 2007. pp. 931-935.
- Aguilar, B.; Canales, J.; Coronado, A.; Huang, H. «Facet-facet Barriers for Cu Small Clusters on $\text{Cu}_{(111)}$ Surfaces». En: *Modeling and Simulation in Materials Science and Engineering*. 15. 2007. pp. 419-426.

Investigación en nanotecnología para agua y saneamiento:

Laboratorio de electroquímica aplicada

Facultad de ciencias

Adolfo La Rosa-Toro (toro@uni.edu.pe)

1 investigador doctor

Investigadores master

2 tesis de posgrado

2 tesis de pregrado

Investigadores con título

Líneas de investigación:

- Electrodo catalítico basado en óxidos metálicos para la oxidación de contaminantes en medios acuosos
- Electrodo químicamente modificado (CEM) aplicados a celdas de combustibles y sensores analíticos
- Electrodeposición y corrosión de metales

Publicaciones:

- Berenguer, R.; La Rosa-Toro, A.; Quijada, C.; Murallón, E. «Origin of the Deactivation Mechanism at Spinel $\text{Cu}_x\text{Co}_{3-x}\text{O}_4$ Anodes Prepared by Thermal Decomposition». En: *Journal of Physical Chemistry*. 112(43). 2008. pp. 16945-16952.
- La Rosa-Toro, A.; Berenguer, R.; Quijada, C.; Montilla, F.; Morallón, E.; Vázquez, J. «Preparation and Characterization of Copper-doped Cobalt Oxide Electrodes». En: *Journal of Physical Chemistry*. 110(41). 2006. pp. 24021-24029.
- La Rosa-Toro, A.; Ponce, M. «Evaluación de electrodos de espinela de cobalto y de dióxido de plomo en la oxidación electroquímica de colorantes». En: *Revista de la Sociedad química del Perú*. 73(4). 2007. pp. 183-196.
- La Rosa-Toro, A.; Quispe, A.; León, I. «Preparación y caracterización de electrodos de espinela de cobalto dopados con níquel». En: *Revciuni*. 9(2). 2005. pp. 36-40.
- La Rosa-Toro, A.; Montilla, G.; Morallón, E.; Vázquez, J. «Caracterización y evaluación de electrodos de óxidos metálicos soportados sobre titanio para la electro-oxidación de cianuro en medio acuoso». En: *Tecnía*. 13(1). 2003. pp. 41-45.

Laboratorio de películas delgadas (LPD)

Juan Rodríguez (jrodriguez@ipen.gob.pe)

María Quintana (mariavna@hotmail.com)

Silvia Ponce (sponceal@yahoo.com)

Línea de investigación:

- Fotocatálisis heterogénea con nanopartículas de TiO_2 y ZnO

Se desarrollaron investigaciones sobre tratamiento de aguas usando nanopartículas de TiO_2 comerciales (Degussa P25) y obtenidas por el mismo grupo usando técnicas hidrotermales. Se caracterizaron los fotocatalizadores estructuralmente y se evaluó su eficiencia cuántica con fuentes de luz estandarizadas. Los contaminantes evaluados fueron en su mayoría de origen orgánico. También se implementó un sistema de captación solar con tubos de vidrio revestidos internamente con nanopartículas de TiO_2 . Ha sido probado exitosamente en una localidad del Cusco.

Publicación:

- Carpio, E.; Zúñiga, P.; Ponce, S.; Solís, J.; Rodríguez, J.; Estrada, W. «Photocatalytic Degradation of Phenol Using TiO₂ Nanocrystals Supported on Activated Carbon». En: *Journal of Molecular Catalysis*. 228(1-2). 2005. pp. 293-298.

Grupo de materiales nanoestructurados (GMN)

Sitio web: <http://fc.uni.edu.pe/gmn>

Abel Gutarra (agutarra@uni.edu.pe)

Línea de investigación:

- Descontaminación de aguas de efluentes textiles y aguas contaminadas con plaguicidas

El GMN realizó ensayos de eliminación de contaminantes en agua, combinando en un mismo reactor la adsorción sobre arcillas activadas y luego la degradación fotocatalítica con TiO₂. Se obtuvieron buenos resultados eliminando colorantes azoicos contenidos en efluentes textiles y plaguicidas.

Publicaciones:

- Vivas, M.; Sun Kou, M.; Gutarra, A.; Tuesta, E. «Eliminación de colorantes tipo azoico de efluentes textiles mediante adsorción y fotocatalisis». En: *Actas de la reunión de la Sociedad española de catálisis*. 22-25. 2003. s/p.
- Tuesta, E.; Vivas, M.; Sun, R.; Gutarra, A. «Modificación química de arcillas y su aplicación en la retención de colorantes». En: *Revista de la Sociedad química del Perú*. 71(1). 2005. pp. 26-36.
- Mansilla, H.; Lizama, C.; Gutarra, A.; Rodríguez, J. «Tratamiento de residuos líquidos de la industria celulosa y textil». En: Blesa, M. (Ed). *Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea*. Mar del Plata: CYTED, 2001.
- Tuesta, E.; Zenitagoya, Y.; Ponce, S.; Gutarra, A. «Degradación de compuestos orgánicos volátiles y plaguicidas por fotocatalisis heterogénea con dióxido de titanio». En: *Tecnia*. 12(1). 2002. s/p.

Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM)

Consejo superior de investigaciones (CSI)

Sitio web: http://vriinvestigacion.unmsm.edu.pe/consejo_superior/index.html

Pertenece al Vicerrectorado de investigación y es el órgano encargado de promover iniciativas de investigación en los institutos, centros y unidades de investigación. Tiene funciones de planificación de las políticas generales, financiamiento de proyectos concursables y apoyo directo para incentivar a los investigadores.

Investigación en nanotecnología:

Instituto de ciencias físicas (ICF)

Facultad de ciencias físicas

Dr. Justiniano Quispe (justinianoqm@gmail.com)

Dr. Víctor Peña (vpenar@unmsm.edu.pe)

Dr. Ángel Bustamante (abustamanted@unmsm.edu.pe)

Dr. Jorge Bravo Cabrejos (jbravo8@hotmail.com)

7 investigadores doctores

4 investigadores master
5 tesis de posgrado
10 tesis de pregrado
10 investigadores con título

Comprende el Laboratorio de nanomateriales, el Laboratorio de difracción de rayos X y espectroscopia Mössbauer y el Laboratorio de análisis de suelos.

Líneas de investigación:

- Síntesis de hidroxiapatita

La hidroxiapatita (Hap) es un fosfato de calcio $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ con propiedades fisicoquímicas similares al tejido óseo. Por ello, es ampliamente investigado para su uso en cirugías maxilofaciales, como relleno óseo y debido a su compatibilidad con el hueso se utiliza como recubrimiento de prótesis. Se ha obtenido Hap por la técnica de síntesis mecano-química: la formación de soluciones sólidas por el impacto que experimentan los componentes en un molino de bolas. Las muestras se analizaron mediante la difracción de rayos X (DRX), espectroscopia infrarroja (FT-IR) y microscopía electrónica de barrido (SEM). Los resultados mostraron que luego de 30 horas de molienda casi toda la materia prima se ha transformado en Hap nanocristalina, manteniéndose un pequeño remanente de CaCO_3 . El grupo investiga cómo influye la estructura nanocristalina de la Hap obtenida con las propiedades físicas y químicas de los huesos y tejidos naturales.

- Síntesis de materiales magnéticos blandos

Desde hace varios años se desarrollan materiales magnéticos usando la técnica de mecano-síntesis. Se han obtenido materiales magnéticos blandos nanocristalinos, es decir con bajo campo coercitivo, alta permeabilidad magnética y alta magnetización de saturación. Son particularmente interesantes las muestras obtenidas a partir de la composición FeSiB con adición de Cu y Ni, llamados Finmet, que revelan una estructura de nanogranos de FeSi en una matriz amorfa.

Publicaciones:

- Moreno, M.; Quispe, J.; Montano, J. «Síntesis de hidroxiapatita por reacción mecano-química». En: *Acta microscópica*. 16(1-2). 2007. pp. 227-228.
- Quispe, J.; Peña, V.; Agüero, J. *et al.* «Influence of Milling Container Internal Geometry on the Mechanical Alloying Process of the $\text{Fe}_{75}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ System». En: *Materials Science and Engineering*. 429(1-2). 2006. pp. 261-265.
- Quispe, J.; Peña, V.; Baggio-Saitovitch, E. «Magnetic Properties and Crystallization of the $\text{Fe}_{75}\text{Si}_{15}\text{B}_{10}$ Amorphous Alloy Prepared by Mechanical Alloying». En: *Hyperfine Interaction*. 148(1-4). 2003. pp. 97-102.

Instituto de ciencias químicas e ingeniería química (ICQ)

Facultad de química e ingeniería química
Dr. Juan Arrollo (jlarroyo16@gmail.com)
Aldo Guzmán (alguzdxtan@gmail.com)
Dr. Jesús Cjuno (jcjunoh1@gmail.com)

Líneas de investigación:

Este grupo de investigadores desarrolla el proyecto *Reducción de los contenidos de azufre presentes en el petróleo mediante la aplicación de compuestos nanoparticulados de molibdeno* que cuenta con financiamiento del BID. El proyecto busca aprovechar el incremento de las propiedades catalíticas resultantes de la disminución del tamaño y forma de las nanopartículas de molibdeno.

Investigación en nanotecnología para agua y saneamiento:

Laboratorio de ecología microbiana y biotecnología marina Tabusso (LEMYB)

Sitio web: <http://www.lamolina.edu.pe/lmt/default.htm>

Facultad de ciencias, departamento de biología

Dra. Doris Zúñiga (dzuniga@lamolina.edu.pe)

1 investigador doctor

1 investigador master

4 tesis de postgrado

10 tesis de pregrado

4 investigadores con título

Líneas de investigación:

- Evaluación de microorganismos de importancia para el tratamiento térmico en la cadena productiva de conservas de espárrago blanco (*Asparagus officinalis*)
- Estudio de bacterias de los géneros *bacillus*, *azotobacter*, *rhizobium* y su capacidad como controladores de fitopatógenos en diferentes cultivos
- Estudio de la diversidad y dinámica de la microflora de la rizósfera de papas, plantas de tara, etc.
- Estudio del efecto del polirricinoleato de poliglicerol (PGPR) de diferentes bacterias en cultivos hortícolas (páprika, espárragos, maíz) y de la fijación biológica del nitrógeno en leguminosas de grano, plantas forrajeras y silvestres
- Fijación biológica del nitrógeno en plantas no leguminosas en asociación con diazótrofos de vida libre
- Biodiversidad de las poblaciones de rizobios que nodulan varios cultivos de leguminosas de grano, forrajeras y silvestres
- Optimización de parámetros para la producción de inoculantes para leguminosas
- Interacciones microbianas en la rizósfera
- Influencia de factores abióticos sobre las poblaciones microbianas de la rizósfera
- También brinda servicios de análisis y ensayos microbiológicos de productos agropecuarios, aguas, suelos, compostas, humus, lodos y sedimentos, evaluaciones de niveles de contaminación ambiental en trabajos de consultoría y capacitación

Instituto peruano de energía nuclear (IPEN)

Dirección de investigación y desarrollo (DID)

Sitio web: <http://www.ipen.gob.pe/site/investigacion/index>

Dr. Juan Rodríguez (jrodriguez@ipen.gob.pe)

Dr. Justo Rojas (jrojas@ipen.gob.pe)

3 investigadores doctores

1 investigador master

3 tesis de posgrado

1 tesis de pregrado

1 investigador con título

Depende directamente de la dirección ejecutiva del IPEN. Con líneas de trabajo entre las que se incluyen remediación y control de pasivos ambientales, materiales compuestos funcionales y química analítica instrumental.

Investigación en nanotecnología:

- Simulación computacional

Con la aplicación de dinámica molecular (DM) para simular la formación de clústeres en forma de icosaedros de 13 y 55 átomos de oro. Se ha determinado que un arreglo lineal de los clústeres no produce coalescencia a temperaturas menores de 300 °K, pero se forman nanoestructuras en forma de nanohilos con diversos grados de deformación.

En otro trabajo de DM se estudió la nucleación y crecimiento de nanopartículas de plata a partir de su fase gaseosa. El potencial de interacción utilizado fue el conocido como *Embedded Atom Method* (EAM). Se determinó que la velocidad de formación y tamaño promedio de las nanopartículas depende principalmente de la densidad del gas y en menor medida de la temperatura.

También se han estudiado las propiedades estructurales y energéticas de nanoclústeres bimetalicos Ni(23-x)Al_x (x=0-23) mediante el uso de potenciales EAM. Se determinaron las configuraciones más estables a 0 °K y sus correspondientes energías, encontrándose el valor mínimo para el clúster Ni₁₉Al₄ (-3.44888 eV/átomo).

Publicaciones:

- Rojas, J.; Sánchez, J. «Estudio del ensamble unidimensional de icosaedros de 13 y 55 átomos de oro». XVI Simposio peruano de física. 2007.
- Lobato, I.; Rojas, J. «Simulación con el método de dinámica molecular de los procesos de formación y crecimiento de las nanopartículas de Ag a partir de la fase gaseosa». XVI Simposio peruano de física. 2007.
- Cabrera, H.; Rojas, J. «Estudio de la estructura y energías de los nanoclusters bimetalicos Ni(23-n)Al en su estado fundamental». XVI Simposio peruano de física. 2007.
- Rojas, J.; Manrique, E.; Frants, I. «Simulación Monte Carlo de las formaciones de clusters en las aleaciones binarias modelo de tipo FCC». En: *Internet Electronic Journal. Nanociencia et Melotrónica*. 2(2). 2004. pp. 291-301.

Investigación en nanotecnología para agua y saneamiento:

- Descontaminación de aguas, en colaboración con la UNI

Participa de un programa promovido por la Agencia interamericana para la cooperación y el desarrollo de la Organización de estados americanos (OEA-AICD) para la descontaminación de agua en zonas rurales o de bajos recursos económicos en varios países latinoamericanos. El proyecto tiene dos partes: la desinfección de agua por contaminantes patógenos y la eliminación de arsénico. Para el primer caso, el proyecto utiliza la técnica desarrollada por el instituto suizo EAWAG, conocida como SODIS, que consiste en exponer a la radiación solar envases de plástico transparentes que contienen el agua que se desea tratar. El efecto combinado de la parte ultravioleta (UV-A) e infrarroja (térmica) de la radiación solar produce la eliminación de bacterias y virus contenidos en el agua. En el Perú, las pruebas de campo se hicieron en el asentamiento humano Tambo Pariachi, en Huaycán.

Para la eliminación de arsénico, se adaptó y validó la técnica conocida como SORAS, también propuesta por el instituto EAWAG. La eliminación de arsénico se da en dos etapas. Primero se oxida de As(III) a As(V) por la acción de especies oxidantes que se generan en la solución por la radiación solar sobre el citrato de Fe(III) previamente disuelto en el agua. En una segunda etapa el As(V) se adsorbe sobre el precipitado de hidróxido de hierro que se forma en el proceso y flocula, permitiendo su separación.

- Remoción de arsénico en agua

Actualmente se ejecuta el proyecto *Investigación de sistemas de tratamiento para la remoción de arsénico, boro y hierro en los cuerpos de agua con fines agropecuarios y agroindustriales* que cuenta con el financiamiento del Banco interamericano de desarrollo (BID).

- Fabricación de membranas

Actualmente se ejecuta el proyecto *Fabricación y caracterización de membranas nanotexturadas para aplicaciones ambientales* con financiamiento del Concytec.

Publicaciones:

- Litter, M.; Mansilla, H. (Eds). *Desinfección solar de aguas en comunidades rurales de América Latina*. S/c: OEA, 2003.
- Litter, M.; Mansilla, H. (Eds). *Remoción de arsénico asistida por luz solar en comunidades rurales de América Latina*. S/c: OEA, 2003.

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA)

Oficina universitaria de investigación (OUI)

Sitio web: http://www.unsa.edu.pe/invest_cooper/of_invest_coop/introduccion.htm

La OUI depende del Vicerrectorado académico. Está conformada por los directores de las unidades de investigación de cada facultad, además de los centros e institutos de investigación y la escuela de posgrado. Cada unidad de investigación proporciona información periódica a la OUI para centralizar y actualizar la base de datos de investigación de la UNSA.

Investigación en nanotecnología para agua y saneamiento:

Laboratorio de investigación de química (LIQ)

Facultad de ciencias naturales y formales, escuela de química

Dra. Heloina Berroa (heloinaberroa@yahoo.com)

Mg. Yolanda Condori

Dr. Francisco Alejo

Katia Martínez Rivera

Mg. Juan Lopa

20 investigadores doctores (4 investigadores en descontaminación de aguas)

10 investigadores master (2 investigadores en descontaminación de aguas)

1 tesista de posgrado (1 investigador en descontaminación de aguas)

5 tesis de pregrado (5 investigadores en descontaminación de aguas)

7 investigadores con título (1 investigador en descontaminación de aguas)

Líneas de investigación:

- Contaminación ambiental
- Nuevos materiales
- Recursos naturales (fotoquímica)

Investigaciones recientes:

- Coagulación y floculación de las aguas del río Chili
- Adsorbentes aplicados a la minimización de metales pesados en descontaminación de aguas residuales de industrias textiles y curtiembres.
- Preparación de catalizadores por el método sol-gel
- Monitoreo en 15 puntos de los contaminantes NO₂ del aire en la ciudad de Arequipa mediante tubos pasivos

Laboratorio de biotecnología de ingeniería química (LBIQ)

Facultad de ingeniería de procesos

Mg. Omar Gallegos (omargaj@yahoo.com.ar)

2 investigadores doctores

1 investigador master

1 tesista de posgrado

10 tesistas de pregrado

Investigadores con título

Línea de investigación:

- Desarrollo de técnicas de descontaminación de aguas

Investigaciones recientes:

- Tratamiento de aguas residuales por biodigestión
- Optimización de procesos de tratamientos en Sedapal
- Remoción de metales pesados en aguas residuales

Unidad de desarrollo tecnológico (UDT)

Centro de microscopía electrónica

Dr. Marcelo Rodríguez (marce26ster@gmail.com)

Dr. Rivalino Guzmán (rigal2005@yahoo.es)

2 investigadores doctores

3 investigadores master

2 tesistas de posgrado

4 tesistas de pregrado

2 investigadores con título

Líneas de investigación:

- Tratamiento de efluente y remediación ambiental
- Tratamiento de pasivos mineros e industriales
- Fabricación de materiales para la conservación de monumentos históricos

Investigaciones recientes:

- Utilización de zeolitas en tratamiento de aguas y suelos

Universidad Nacional Católica de Santa María (UCSM) Centro interdisciplinario de investigación e innovación (CICA)

Sitio web: <http://www.ucsm.edu.pe/cicacinv>

El CICA es la unidad académico administrativa de apoyo dependiente del vicerrector académico. Gestiona proyectos interdisciplinarios y transdisciplinarios con énfasis en la innovación, estableciendo formas de cooperación con el sector productivo, el Estado y las redes de ciencia y tecnología.

Investigación en nanotecnología para agua y saneamiento:

Laboratorio de control de calidad (LCC)

Facultad de ciencias farmacéuticas, bioquímicas y biotecnológicas

Juan Ramírez (bioinves@ucsm.edu.pe)

2 investigadores doctores

1 investigador master

Tesistas de posgrado

3 tesistas de pregrado

Investigadores con título

Líneas de investigación:

- Detección y cuantificación de contaminantes en el medio ambiente
- Nuevas tecnologías de bioremediación y remoción de contaminantes

Investigaciones recientes:

- Descontaminación de aguas con cadmio usando sábila
- Determinación de metales pesados en aguas por técnicas voltamétricas

Universidad Nacional de Trujillo (UNT)

Oficina general de promoción y desarrollo de la investigación

Sitio web: <http://www.unitru.edu.pe/oficinas/ogprodein/index.php>

Órgano de apoyo del Vicerrectorado académico con la tarea de fomentar, promocionar, gestionar, coordinar, apoyar y difundir las actividades de investigación que ejecutan sus docentes en los diferentes departamentos académicos e institutos. Los proyectos financiados por la oficina deben ser aprobados previamente por los comités técnicos de investigación de cada facultad.

Investigación en nanotecnología:

Laboratorio de física de materiales (LFM)

Facultad de ciencias físicas y matemáticas

Lic. Luis Angelats (langelats@yahoo.com)

1 investigador doctor

1 investigador master

1 tesista de posgrado

2 tesistas de pregrado

1 investigador con título

El LFM desarrolla materiales con aplicaciones en nanoelectrónica. Tiene una línea de trabajo dedicada a películas delgadas y nanoestructuras. Para obtener las películas usa la técnica de spray-pirólisis.

Líneas de investigación:

- Películas delgadas basadas en ZnO
- Semiconductores magnéticos diluidos
- Nanopartículas de ZnO:Co

Publicaciones:

- Balaguera, M.; Perales-Pérez, O.; Tomar, M.; Angelats, L.; Rodríguez, I. «Synthesis and Optoelectronic Properties of Arrayed ZnO Nanorods Grown on ZnO Film (Pt, Si) in Aqueous Solutions». En: *Nanotechnology*. 18(21). 2008. pp. 135-138.
- Angelats, L.; Tomar, M.; Singhal, R.; Pérez, O.; Jiménez, H.; Martínez, R. «Structural, Optical and Magnetic Properties of Co and Fe doped ZnO Thin Films Grown by Radio Frequency Magnetron Sputtering». *S/c: s/e*, 2006.
- Angelats, L. *Study of Structural, Electrical, Optical and Magnetic Properties of ZnO Based Films Produced by Magnetron Sputtering*. Mayaguez: Universidad de Puerto Rico Mayaguez, 2006. Tesis de master.

Laboratorio de materiales cerámicos (LMC)

Facultad de ingeniería

Dr. Hernán Alvarado (hmaq64@hotmail.com)

2 investigadores doctores

2 investigadores master

3 tesistas de posgrado

4 tesistas de pregrado

2 investigadores con título

El LMC fabrica materiales cerámicos para construcción, analizando sus propiedades mecánicas. Actualmente desarrollan un proyecto que consiste en la fabricación de filtros de arcilla para descontaminación de gases.

Línea de investigación:

- Desarrollo de filtros cerámicos para gases

Investigación en nanotecnología para agua y saneamiento:

Laboratorio de fisicoquímica investigación N°4 (LFQ4)

Facultad de ingeniería química

Mg. Wilson Reyes (wirela54@gmail.com)

- 1 investigador doctor
- 2 investigadores master
- 1 tesista de posgrado
- 3 tesista de pregrado
- 1 investigador con título

Líneas de investigación:

- Tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Trujillo usando microorganismos selectivos para metales pesados
- Usos de lodos residuales en la agricultura de la región La Libertad
- Tratamiento de aguas residuales proveniente de curtiembres de la ciudad de Trujillo

5.3. Principales actores de la nanotecnología en agua y saneamiento a nivel América Latina

La generación de conocimiento y publicaciones en ciencias e ingenierías durante el año 2005 en América Latina fue 7.9 % de la producción mundial. Entre los países productores de conocimiento en el continente destacan Brasil, México y Argentina con 80 % de la producción total. Este indicador, sin ser absoluto, refleja el estado de avance relativo de la ciencia y tecnología entre los países evaluados. La situación de la nanotecnología entre los países latinoamericanos sigue este mismo patrón. Las diferencias entre ellos se pueden observar en el grado de apoyo gubernamental: Brasil y Argentina tienen iniciativas estatales, México no la tiene, y en el nivel de reciprocidad entre la oferta del sector académico y la demanda del sector productivo. En estos tres países es notable el incremento de la actividad investigativa de universidades e institutos y el interés social que la nanotecnología ha generado en últimos años.

Dentro del programa de cooperación de la Unión Europea para el desarrollo de la nanotecnología o *European 7th Framework Programme for Research and Technological Development (FP7)*, un grupo de especialistas de la UE realizaron visitas a México y Argentina para conocer directamente de los investigadores locales, las capacidades en recursos humanos, marcos legales y la infraestructura disponible para la investigación y desarrollo de la nanotecnología. La misión, llamada Nano Forum EULA tuvo como finalidad identificar contrapartes locales para participar en proyectos de investigación conjuntos entre grupos europeos y latinoamericanos.

Las conclusiones de la misión que visitó México estuvieron relacionadas a la capacidad de generación de recursos hídricos presente en México (y toda América Latina) y el interés existente por parte de la UE en el uso de nanotecnología principalmente para remover agentes contaminadores del agua y proteger las fuentes de agua dulce.

México

Instituciones:

- Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)
- Centro de investigaciones en química aplicada (CIQA)
- Centro de investigación en materiales avanzados (CIMAV)
- Instituto tecnológico y de estudios superiores de Monterrey (ITESM)
- Centro de investigación en alimentación y desarrollo (CIAD)
- Corporación mexicana de investigación en materiales
- Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de ciencias de la materia condensada (CCMC –UNAM)
- Universidad Nacional Autónoma de México, Regina Network
- Centro de investigación óptica (CIO)
- Centro de investigación y desarrollo tecnológico en electroquímica (Cideteq)
- Centro de investigación y estudios avanzados (Cinvestav)
- Universidad Politécnica de Aguascalientes (UPA)
- Centro de ingeniería y desarrollo industrial (Cidesi)
- Universidad de Guanajuato (UGTO)
- Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo
- Instituto potosino de investigación científica y tecnológica (Ipcyt)
- Centro de investigación y estudios avanzados de Queretaro
- Universidad Autónoma de San Luis Potosí
- Centro nacional de metrología (CENAM)
- Instituto nacional de astrofísica, óptica y electrónica (INAOE)
- Universidad de las Américas (UDLA)
- Instituto politécnico nacional (IPN)
- Instituto mexicano del petróleo (IMP)
- Universidad Iberoamericana (UIA)
- Instituto de investigaciones en materiales (IIM-UNAM)
- Centro de investigación y desarrollo (CID)

Compañías:

- Coyotefoods Biopolymer and Biotechnology Co.
- Meccano de México
- Peñoles
- Nanosoluciones
- Shulman de México
- Cementos mexicanos (CEMEX)
- Interplan-Hábitat
- Mabe Electrodomeotics

Todas las instituciones y empresas mencionadas realizan trabajo de investigación o aplicación en nanotecnología, sin embargo, un número muy reducido de ellas las usan para tratamiento del agua. Esto se debe a que las líneas de investigación más importantes

y económicamente rentables están en la fabricación y caracterización de nanomateriales. Durante el Nano Forum EULA, tres de los actores listados demostraron su interés en el desarrollo de filtros nanoporosos y materiales nanoestructurados para tratamiento de agua: la Universidad Politécnica de Aguascalientes, la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y el Instituto de investigaciones en materiales. Meccano, compañía dedicada a la construcción de viviendas sostenibles de bajo costo, expresó su interés en la posibilidad de que algunos materiales o procesos de base nanotecnológica puedan hacer viable el suministro de agua reciclable y segura a las viviendas que construyen.

Instituto potosino de investigación científica y tecnológica (Ipicyt)

Sitio web: <http://www.ipicyt.edu.mx>

División: ciencias ambientales

Dr. José Rangel (rene@ipicyt.edu.mx)

Líneas de investigación:

- Contaminación de aguas residuales
- Remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos de agua potable. Recuperación de metales preciosos de efluentes acuosos
- Contaminación de aguas residuales
- Optimización de las propiedades físicas y químicas de adsorbentes carbonáceos (fibras de carbón y carbón granular activado), algas marinas, resinas de intercambio iónico, etc.

Los nanotubos de carbono se descubrieron en 1991 y desde entonces se han sintetizado, generando alternativamente nuevos tipos de nanoestructuras de carbono. Debido a sus propiedades fisicoquímicas, los nanotubos de carbono han sido en la adsorción de gases, soporte de catalizadores, reforzamiento de estructuras, microsensores, etc. Los nanotubos poseen propiedades eléctricas y mecánicas únicas, una alta estabilidad química y térmica, y una elevada área superficial ($> 1\ 000\ \text{m}^2/\text{g}$). Las características físicas de estos materiales nanoestructurados son ideales en un adsorbente; se espera que introduciendo grupos oxigenados en la superficie de las nanoestructuras su capacidad de adsorción de metales pesados (cationes) sea mucho mayor (>10 veces) que la de adsorbentes comerciales como carbón activado granular y zeolitas.

Los adsorbentes naturales y sintéticos tienen un amplio campo de aplicación, dentro del que destaca el tratamiento de agua potable. Los estándares cada vez más rigurosos aplicados a la calidad del agua y la capacidad de adsorción de metales pesados relativamente baja de los adsorbentes existentes en el mercado ha estimulado a producir adsorbentes novedosos altamente eficientes con propiedades fisicoquímicas óptimas que multipliquen la capacidad de adsorción de contaminantes presentes en soluciones acuosas.

Objetivos generales:

- Funcionalizar nanoestructuras de carbono de capa sencilla, multicapa, y cup-stacked-type a través de procesos de oxidación
- Determinar la isoterma de adsorción de los metales pesados seleccionados en solución acuosa; se investigará el efecto del pH, temperatura y materia orgánica en la isoterma de adsorción
- Estudiar la regeneración de las nanoestructuras de carbono saturadas con los adsorbatos modelo y determinar el efecto de la regeneración en la capacidad de adsorción de las nanoestructuras de carbono
- Obtener los parámetros de operación, en columnas de lecho empacado, para diseñar un adsorbedor (reactor) prototipo

Instituto potosino de investigación científica y tecnológica (Ipicyt)

Sitio web: <http://www.ipicyt.edu.mx>

División de ciencias ambientales

Dra. Paola Díaz (paola.diaz@ipicyt.edu.mx)

Proyecto:

- Adsorción competitiva de compuestos orgánicos y metales pesados en solución acuosa mediante telas de carbón activado

Argentina

Instituciones:

- Ministerio de ciencia y tecnología (Mincyt)
- Consejo nacional de ciencia y tecnología (Conicet)
- Redes argentinas de nanociencia y nanotecnología
- Centro interdisciplinario de nanociencia y nanotecnología (CINN).
- Comisión nacional de energía atómica (CNEA):
 - Grupo de propiedades ópticas
 - Grupo de *Micro Electro Mechanics Systems*
 - Materiales magnéticos
 - Física de superficies
 - Instituto Balseiro
- Universidad de Buenos Aires, instituto de química física de los materiales, medio ambiente y energía
- Fundación argentina de nanotecnología
- Instituto de química de los materiales, medio ambiente y energía (Inquimae)

Compañías:

- Darmex
- Nanotek
- Investigaciones aplicadas (INVAP)

A pesar de que los grupos de investigación están menos dispersos geográficamente que los mexicanos, se aprecia escaso trabajo multidisciplinario. Dentro de los grupos de la lista anterior, ubicamos pocos grupos con proyectos de investigación en aguas aplicando nanotecnologías.

Comisión nacional de energía atómica (CNEA)

Sitio web: <http://www.cnea.gov.ar>

Unidad de activación química, Centro atómico constituyentes

Dr. Miguel Blesa (miblesa@cnea.gov.ar)

Dra. Marta Litter (litter@cnea.gov.ar)

La CNEA está orientada a actividades de investigación y desarrollo vinculados al desarrollo de energía nuclear con fines pacíficos. Sin embargo, extiende sus capacidades técnicas a proyectos ambientales como la gestión del aire, agua, suelo y el desarrollo de tecnologías de remediación de aguas y aire.

Desde el año 2002 se viene desarrollando un proyecto coordinado por la Unidad de actividad química, con el financiamiento de la OEA. En este proyecto participan 6 países latinoamericanos (entre ellos el IPEN) y estudia la factibilidad de aplicar tres tecnologías económicas y sencillas para potabilizar el agua (eliminar el arsénico) y mejorar la salud de pobladores rurales. El agua que contiene altas cantidades de arsénico produce una enfermedad crónica, el hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE), que puede desembocar en una serie de variedades de cáncer.

Las tecnologías propuestas son desinfección solar de aguas en unidades individuales (DSAUI), remoción de arsénico por oxidación solar (RAOS) y fotocátalisis heterogénea (FH).

Universidad de Buenos Aires
Instituto de química de los materiales, medio ambiente y energía (Inquimae)
Sitio web: <http://www.inquimae.fcen.uba.ar>

Reúne grupos multidisciplinarios orientados a la investigación de las propiedades fisicoquímicas de materiales y al desarrollo de diversas aplicaciones para la remediación ambiental y usos energéticos. Está dividida en varias áreas de investigación:

Área de nanoquímica y sistemas complejos
Dra. Sara Bilmes (sarabil@qi.fcen.uba.ar)

- Línea de fotoelectroquímica y fotocátalisis

Realizan estudios de aplicación de la fotocátalisis heterogénea para la eliminación de contaminantes habituales en medios naturales. Se ensayan nuevos materiales para fotocátalisis y electrocátalisis con el objetivo de evaluar su utilidad en la purificación de aguas contaminadas por compuestos orgánicos.

Área de síntesis y reactividad
Dr. Roberto Candal (candal@qi.fcen.uba.ar)
Dra. María dos Santos (dosantos@qi.fcen.uba.ar)

- Línea de síntesis de óxidos metálicos para aplicaciones en fotocátalisis y fotoelectroquímica

Se dedica a la síntesis de nanopartículas de óxidos metálicos por técnicas de sol-gel, así como recubrimientos cerámicos sobre diversos sustratos; óxidos metálicos con propiedades fotocatalíticas y membranas cerámicas.

- Línea de química de contaminantes de aguas y suelos

El grupo realiza estudios de biodisponibilidad, tiempo de vida media y permanencia de contaminantes en los medios naturales así como sus procesos de movilización en aguas. Realizan estudios de adsorción de herbicidas sobre óxidos de hierro y manganeso, arcillas y cuarzo, se realiza la síntesis y caracterización de complejos con metales a nivel de vestigios, se estudian las cinéticas de hidrólisis y degradación de contaminantes orgánicos e inorgánicos y de disolución de coloides inorgánicos por ligandos orgánicos, lo que permite entender la movilidad y destino de los contaminantes.

Nanotek

Sitio web: <http://www.nanoteksa.com>

Nanotek es una compañía argentina que tiene la patente de fabricación de nanopartículas de hierro cerovalentes (Fe⁰). Este material es usado en la descontaminación de aguas subterráneas. Es inyectado en el suelo sobre un sector contaminado y, en presencia de un catalizador, degrada compuestos tóxicos orgánicos. Es capaz de reducir metales como el Cr⁶⁺ a estados de oxidación 3+ ó 0.

Brasil

La búsqueda de información de grupos de investigación se realizó en el *Diretorio dos grupos de pesquisa no Brasil*, publicado por el *Conselho nacional de desenvolvimento científico e tecnologico* (CNPq).

Engenharia ambiental e da qualidade (GEAQ)

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Sitio web: <http://www.ufpe.br/leaq/>

Centro de tecnologia, departamento de engenharia química

Dr. Valdinete Lins (valdinete.lins@pq.cnpq.br)

Dra. Maria Pimentel (mfernanda.pimentel@pq.cnpq.br)

El GEAQ es integrado por investigadores del área de medio ambiente, nanotecnología, sensores e instrumentación analítica. Cuenta con el Laboratorio de ingeniería ambiental para trabajos relacionados a petróleo, gas y biodiésel.

Líneas de investigación:

- Preparación de fotocatalizadores nanoparticulados y microparticulados para tratar compuestos recalcitrantes por oxidación avanzada, atizando luz solar, blanca y negra
- Utilización de adsorbentes basados en productos biológicos como pepa de coco verde, microalgas, arcillas, bagazo y ceniza de caña de azúcar para recuperar aguas residuales domésticas e industriales
- Minimización del uso de energía y emisiones atmosféricas, promoviendo la producción de biodiesel en base a materiales alternativos
- Producción de microorganismos adaptados para tratar contaminantes recalcitrantes
- Ingeniería de sistemas de modelos matemáticos y estadísticos
- Instrumentación para el control de calidad de antibióticos
- Monitoreo y degradación de pesticidas, residuos orgánicos, antibióticos, petróleo y biodiesel por POA
- Producción de biodiesel con reuso de cloacas tratadas

Grupo de estudos em saneamento descentralizado

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Sitio web: <http://www.ufsc.br>

Departamento de engenharia sanitária e ambiental

Dr. Mauricio Sens (mauricio.sens@pq.cnpq.br)

Actualmente el grupo desarrolla investigaciones en tecnologías de tratamiento avanzado de agua y atención de pequeñas comunidades de bajos ingresos y comunidades rurales. Sus principales investigaciones son:

- Filtración en orillas de lagos para remoción de microalgas, cianobacterias y cianotoxinas Filtración en orillas de ríos para remoción de agrotóxicos
- Pre y posoxidación por ozono seguido de filtración directa para tratar aguas eutrofizadas
- Filtración directa ascendente y descendente, con o sin prefloculación
- Floculación en medio granular, fijo y expandido
- Filtración lenta con retrolavado para abastecimiento de agua rural para unidad familiar
- Ozoflotación con filtración rápida para tratamiento de agua eutrofizada
- Producción de agua transportable por destilación solar natural para residencias aisladas

Productos desarrollados:

- Estación de tratamiento de agua transportable
- Equipamiento para ensayos de filtración de banco a través de la utilización de esponjas de poliuretano
- Equipos de producción de agua por destilación solar

Líneas de investigación:

- Desarrollo de procesos y sistemas de tratamiento de agua suministrada
- Optimización de procesos de tratamiento de agua suministrada
- Tecnologías avanzadas de tratamiento de agua
- Tratamiento de agua para pequeñas comunidades
- Tratamiento de agua para residencias aisladas
- Tratamiento de agua en situaciones de emergencia

Núcleo de bioengenharia aplicada ao saneamento

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Sitio web: <http://www.ufes.br>

Centro tecnológico, departamento de engenharia ambiental

Dr. Ricardo Franci (franci@pq.cnpq.br)

Dr. Servio Cassini (scassini@pq.cnpq.br)

El objetivo general del núcleo es desarrollar y perfeccionar tecnologías en el área de aguas de abastecimiento, aguas residuales y residuos sólidos, de fácil replicabilidad, bajo costo de implementación, operación y mantenimiento y que resulten en la mejora de las condiciones de vida de la población brasileña, especialmente en la más pobre. Sus objetivos específicos son que sus investigaciones tengan como base la revisión del patrón tecnológico actual, permitiendo la ampliación de los servicios de saneamiento, estableciendo normas y patrones adecuados que reconozcan las particularidades regionales y locales y los diferentes niveles de atención a la población, preservando o recuperando el medio ambiente. Una de sus principales características es su constitución multiprofesional con diversos profesionales como ingenieros civiles, sanitarios, agrónomos, mecánicos y químicos, biólogos, farmacéuticos, etc. Esta variedad permite al grupo cubrir una vasta gama de asuntos ligados a las prácticas autosostenibles de saneamiento.

Líneas de investigación:

- Evaluación de la eficiencia de un sistema de reciclaje de agua residual para la conservación de agua y energía en una edificación residencial

- Evaluación de bacterias reductoras de sulfato en UASB
- Biorremediación utilizando biofiltros abiertos rellenos con material orgánico
- Bioremediación
- Desarrollo de sistemas de potabilización de aguas en regiones desprovistas de electricidad
- Detección simplificada de coliformes y *E. Coli* en muestras de agua utilizando substrato cromogénico en microplacas y metodología NMP
- Estudio de filtros percoladores como unidad de postratamiento de efluentes de reactores UASB
- Fuentes alternativas de agua en edificaciones
- Gestión de aguas amarillas
- Gestión de aguas amarillas y aguas negras en una edificación educacional
- Microbiología aplicada al saneamiento
- Modelamiento y control aplicados a una estación de tratamiento de alcantarillado
- Nitrificación de efluentes de reactores anaeróbicos a través de biofiltros sumergidos
- Reciclado agrícola de lodo de alcantarilla tratado
- Uso de aguas amarillas en la agricultura
- Uso de escoria de acerería de siderurgia como lecho filtrante de sistemas de tratamiento de efluentes en lecho cultivado tipo wetlands

Empresa brasileira de pesquisa agropecuária (Embrapa)

Sitio web: <http://www.embrapa.br>

Empresa estatal dedicada a las investigaciones agropecuarias. En lo concerniente al agua, investiga sus usos agrícolas. Uno de los problemas más frecuentes que trata es la contaminación de aguas de regadío con agroquímicos, que al ingresar a la cadena alimenticia, ocasionan efectos toxicológicos en la población.

Líneas de investigación:

- Impacto ambiental del uso de pesticidas
- Análisis de riesgo del uso de agentes microbianos de control biológico
- Indicadores de sostenimiento de agroecosistemas
- Degradación de pesticidas por microorganismos del suelo
- Calidad de aguas para uso agrícola
- Uso agrícola del lodo de cloaca

El año 2002 desarrollaron un dispositivo innovador que permite determinar sabores y monitorear la presencia de contaminantes en agua. Se trata de una lengua electrónica, constituida por un arreglo de 6 electrodos recubiertos con polímeros de espesor nanométrico. Estos electrodos, puestos en contacto con el analito, producen respuestas eléctricas individuales características de la sustancia monitoreada. Al analizar el conjunto de señales, se obtienen un patrón característico del contaminante, que pueden ser desde compuestos orgánicos hasta metales. La alta sensibilidad del dispositivo se debe a la presencia de los polímeros conductores en los electrodos con espesores de una monocapa molecular.

Chile

El desarrollo de la nanotecnología en Chile es intermedio, entre los países mencionados anteriormente y los de la Comunidad andina, en términos de número de investigadores, condiciones de apoyo institucional y producción científica y tecnológica.

Los grupos más activos en temas vinculados al agua son las universidades de Concepción y la de Chile. En esta última no encontramos grupos consolidados trabajando en temas vinculados a la contaminación del agua que usen aplicaciones nanotecnológicas.

Universidad de Concepción
Dirección de investigación

Manejo sostenible de suelos-agua-plantas
Área de técnicas y ciencias silvoagropecuarias

Línea de investigación:

- Requerimientos nutricionales e hídricos de frutales y cultivos intensivos
- Programación de riego
- Fertirrigación de frutales y cultivos intensivos
- Calidad de agua y contaminación de acuíferos
- Riego deficitario controlado en frutales
- Manejo de suelos degradados
- Agroforestería

Proyectos:

- Reducción de la contaminación ambiental generada por el uso de pesticidas en huertos frutales estableciendo ventanas de aplicación (2001-2003)
- Estudio de fertirriego en frambuesa sometida a riego por goteo. Análisis de la eficiencia de uso del nitrógeno mediante método isotópico (2003-2005)
- Tecnologías de manejo de agua para una agricultura intensiva sustentable (2003-2006)

Publicaciones:

- Cárdenas, G.; Acuña, J. «Nickel Nanoparticles and Solids Using Organic Solvents. En: *Kolloid-Zeitschrift & Zeitschrift für Polymere*. 279. 2001. pp. 442-448.

Materiales microporosos en catálisis y adsorción
Área de ciencias exactas y naturales

Líneas de investigación:

- Síntesis y caracterización de materiales microporosos (zeolitas, arcillas pilareadas y carbones activados)
- Adsorción: retención de iones metálicos y compuestos orgánicos desde solución acuosa
- Catálisis heterogénea: oxidación catalítica selectiva en fase acuosa (CWAO)

Proyectos:

- Síntesis, caracterización y estudio de metalo-mesógenos fasmídicos
- Eliminación de compuestos orgánicos, amoníaco y aminas mediante oxidación catalítica selectiva en fase acuosa (CWAO) en catalizadores metálicos soportados en carbón activado (2002-2006)
- Hidrodesulfuración (HDS) e hidrodeshidrogenación (HDN) de gasoil sobre catalizadores de Re-Co y Re-Ni soportados en Al_2O_3 y en carbón (2002-2006)
- Desarrollo de adsorbentes para la remoción de metales pesados en efluentes industriales
- Tecnologías limpias para la separación de olefinas ligeras

Bolivia, Colombia y Venezuela

En los otros países del continente como Bolivia, Colombia, Venezuela y Perú, el desarrollo de las actividades en nanotecnología es de menor intensidad. En un reciente trabajo sobre la situación de la nanotecnología en los países de la Comunidad andina (Aguirre *et al.*, 2007) se indica que Colombia cuenta con 34 grupos de investigación registrados por el sistema nacional de ciencia y tecnología, con una producción de 26 artículos por año hasta el año 2006; en Venezuela se registran 60 investigadores con 16 artículos por año durante los últimos 10 años.

5.4. Conclusiones

Instituciones

Se identificaron ocho universidades y un instituto cuyas actividades de investigación y desarrollo (I+D) están vinculadas, ya sea con investigaciones en nanotecnología o con temas relacionadas al agua. Usamos la idea de I+D en un sentido amplio, es decir, abarcando desde enfoques básicos fundamentados en la física, química, biología o modelamiento hasta aplicaciones de técnicas estandarizadas en el monitoreo de la calidad del agua o control de contaminantes. Los grupos presentados en esta lista son parte de instituciones más grandes que cuentan con infraestructura propia y el equipamiento necesario para los proyectos que realizan. La conformación de un grupo de trabajo multidisciplinario que conjugue las dos disciplinas, nanotecnología y tratamiento de agua, ofrece ciertas dificultades, no sólo en Perú, sino países con mayor nivel de desarrollo científico y tecnológico.

Las técnicas convencionales relacionadas al agua, descontaminación, disposición, reciclaje y monitoreo de calidad del agua son bastante conocidas y en su mayoría realizadas por especialistas en ingeniería química, ingeniería ambiental y ciencias químicas. Por otro lado, la nanotecnología es todavía un tema por explorar y los pocos grupos que lo abordan en el Perú son integrados en su mayoría por químicos, físicos e ingenieros de materiales.

Para elaborar una propuesta de trabajo multidisciplinario hemos creído conveniente agrupar a los actores según tres categorías (**ver tabla 6**):

1. Grupos con proyectos en nanotecnología que no tienen relación con el agua
2. Grupos con proyectos en nanotecnología aplicados al agua
3. Grupos con proyectos vinculados al agua que no usan nanotecnología

Tabla 6. Grupos de investigación según tipo de proyectos

Institución	Laboratorio o unidad de investigación	1	2	3
PUCP	Laboratorio de investigación N° 4		X	
	Laboratorio de metalurgia extractiva		X	
	Laboratorio de investigación N° 3			X
UPCH	Laboratorio de biotecnología ambiental			X
	Unidad de biominería y medio ambiente			X
	Unidad de bioinformática	X		
UNALM	Laboratorio de ecología microbiana y biotecnología marina Tabusso			X
UNI	Laboratorio de películas delgadas	X	X	X
	Laboratorio de materiales nanoestructurados	X		
	Laboratorio de materiales nanoestructurados		X	
	Laboratorio de sputtering	X		
	Laboratorio de electroquímica aplicada			X
	Laboratorio de química de materiales aplicados al ambiente		X	
	Grupo de modelado y simulación multiescala	X		
UNMSM	Instituto de ciencias físicas	X		
	Instituto de ciencias químicas e ingeniería química	X		
IPEN	Dirección de investigación y desarrollo (simulación)	X		
	Dirección de investigación y desarrollo			X
UNSA	Laboratorio de investigación de química			X
	Unidad de desarrollo tecnológico			X
	Laboratorio de biotecnología de ingeniería química			X
UNT	Laboratorio de física de materiales	X		
	Laboratorio de fisicoquímica e investigación N° 4			X
	Laboratorio de materiales cerámicos	X		
UCSM	Laboratorio de control de calidad			X
24 unidades de investigación		10	5	11

En total se cuentan veinticuatro unidades de investigación: diez de ellas realizan proyectos en nanotecnología en temas diferentes al agua, cinco aplican nanomateriales para el tratamiento de agua, once tienen proyectos relacionados a la descontaminación o control de calidad del agua pero no usan nanotecnología.

Los cinco grupos que trabajan en nanomateriales aplicados al agua lo hacen en el empleo de materiales adsorbentes como arcillas modificadas y carbones activados (Laboratorio de investigación N° 4, PUCP y Laboratorio de materiales nanoestructurados, UNI), catalizadores (Laboratorio de fisicoquímica y películas delgadas, UNI) o con nanopartículas de hierro (Laboratorio de metalurgia extractiva, PUCP).

El control de análisis bacteriológico es realizado en el Laboratorio de biotecnología ambiental (UPCH), Laboratorio de ecología microbiana y biotecnología marina Tabusso (UNALM) y el Laboratorio de biotecnología de ingeniería química (UNSA).

Tres unidades investigan técnicas computacionales para simulación y cálculo, la Unidad de bioinformática (UPCH), la Dirección de investigación y desarrollo (1) y el Grupo de modelado y simulación multiescala (UNI).

Investigadores

Si consideramos a los integrantes con grados de master o doctor de cada grupo que trabaja en nanotecnología, encontramos que se cuenta aproximadamente con 25 investigadores (**ver tabla 7**).

Tabla 7. Investigadores identificados

Institución	Laboratorio o unidad de investigación	Investigadores
PUCP	Laboratorio de investigación N° 4	2
	Laboratorio de metalurgia extractiva	1
UPCH	Unidad de bioinformática	1
UNI	Laboratorio de películas delgadas	4
	Laboratorio de materiales nanoestructurados	2
	Laboratorio de sputtering	2
	Laboratorio de fisicoquímica	1
	Grupo de modelado y simulación multiescala	1
UNMSM	Instituto de ciencias físicas	3
	Instituto de ciencias químicas e ingeniería química	3
IPEN	Dirección de investigación y desarrollo	2
UNT	Laboratorio de física de materiales	2
	Laboratorio de materiales cerámicos	1
Total		25

Formación de investigadores

Es interesante notar el interés de los jóvenes egresados por continuar estudios de posgrado en universidades extranjeras en temas de nanotecnología. Durante el año 2007, la UNI registró seis estudiantes de las facultades de ciencias y de ingeniería mecánica que obtuvieron becas para seguir estudios en nanotecnología fuera del país:

Laboratorio de materiales nanoestructurados:

Gabriel Cava, *Nanomolecular Science Program*, Jacobs University (Bremen)
 Jun Sotelo, *Laboratory of Protein Informatic*, Osaka University
 Rodolfo Fernández, *Materials Science Program*, Portland State University

Grupo de modelado y simulación multiscala:

Boris Aguilar, *Department of Computer Science and Physics*, Virginia Tech University
 José Flores, *Computational Chemistry and Biochemistry*, Carnegie Mellon University
 Harry Saavedra, *Protein Modeling*, Rice University

Equipamiento

En la **tabla 8** se presentan datos de los equipos más importantes por institución. Los datos no discriminan por cantidad de equipamiento, sino posesión.

Tabla 8. Equipamiento disponible²

Institución	SEM	TEM	RMN	AFM	FTIR	MICO	ME	UV	IPC	AA	DRX	FRX	MOS	HPLC	CG	TG	DTA	POT	IMP
PUCP	√		√		√	√		√	√	√				√	√			√	√
UPCH*						√													
UNALM*						√		√											
UNI	√	√			√	√	√	√		√	√			√				√	
UNMSM	√				√	√		√		√	√	√	√			√	√		
UNSA	√				√	√		√		√				√	√		√	√	
IPEN		√		√				√		√	√	√		√					
UCSM								√						√				√	
UNT	√				√	√		√		√				√	√				
Total	5	2	1	1	5	7	1	8	1	6	3	2	1	6	3	1	2	4	1

* Los principales equipos son utilizados para técnicas biológicas o de computación.

-
- 2 Siglas utilizadas: SEM, microscopio electrónico de barrido; TEM, microscopio electrónico de transmisión; AFM, microscopio de fuerza atómica; NMR, espectrómetro de resonancia magnética nuclear; FTIR, espectrómetro infrarrojo con transformada de Fourier; MICO, microscopio óptico; ME, espectrómetro de masa; UV, espectrómetro ultravioleta; IPC, espectrómetro de emisión por carga acoplada inductiva; AA, espectrómetro de absorción atómica; DRX, difractómetro de rayos X; FRX, fluorescencia de rayos X; MOS, espectrómetro Mössbauer; HPLC, cromatógrafo de líquidos de alto rendimiento; CG, cromatógrafo de gases; TG, gravimetría térmica; DTA, análisis térmico diferencial; POT, potencióstato; IMP, impedancia electroquímica.

Aunque la **tabla 8** muestra que cinco universidades disponen de microscopios electrónicos de barrido, hay que señalar que tres de ellos tienen más de veinte años de antigüedad y fueron obtenidos mediante donaciones. El único microscopio electrónico de transmisión registrado (IPEN) comparte estas características (antigüedad y donación).

Los microscopios son instrumentos de gran importancia en la nanotecnología. La mayoría de los microscopios electrónicos disponibles son usados como instrumentos de enseñanza debido a su obsolescencia. El microscopio de fuerza atómica (AFM) es fundamental para la investigación en nanotecnologías y actualmente el país solo cuenta con uno, recientemente adquirido por el IPEN.

Existen otros materiales y equipo disponibles para la síntesis o fabricación de nanomateriales como sputtering (UNI), spray pirólisis (IPEN, UNT), flame spray (IPEN), electrodeposición (UNI), evaporación al vacío (UNMSM), aleación mecánica (UMNSM) y sol-gel (UNI, UNMSM).

Sin embargo, según los investigadores, los equipos necesarios que no existen en el Perú son: XPS (espectrómetro de fotoelectrones de rayos X), VSM (magnetómetro de muestra vibrante), RS (espectrómetro Raman), BET (análisis de superficies nanoporosas) y LS (dispersión de luz).

5.5. Temas de discusión

Fortalezas y debilidades en el establecimiento de un proyecto local sobre nanotecnologías aplicadas a tratamiento de agua

Una diferencia notable entre las prioridades de países como Brasil, Argentina, México y Perú, es que estos conceden prioridad a los aspectos productivos de la nanotecnología, ya que es considerada una manera de generar productos de alto valor comercial u optimizar la producción a escala de *commodities*. En el Perú, existe una fuerte orientación de uso de la tecnología para resolver problemas de impacto social en áreas como contaminación, salud y vivienda. Esto se puede deber a la poca industrialización o la fuerza de las necesidades sociales.

Debido a que la comunidad científica en el Perú es reducida, varios de los investigadores mencionados en este trabajo se conocen directa o indirectamente. Esto ayuda mucho a conformar un equipo de trabajo.

La mayoría de los investigadores trabajan materiales con capacidades de remoción o degradación de contaminantes, como filtros o catalizadores. Una técnica bien desarrollada en nuestro medio es el uso de fotocatalizadores, en especial dióxido de titanio (nanopartículas) que, una vez expuesto a la luz solar, puede degradar compuestos orgánicos tóxicos.

La participación de los biólogos en ejercicios de prueba de nanomateriales para tratar fuentes de agua es muy importante por dos razones: pueden hacer controles bacteriológicos y determinar la eficiencia de los métodos aplicados, y pueden evaluar los efectos residuales que los nanomateriales usados tienen sobre las poblaciones que usan el agua. Los efectos toxicológicos de los materiales empleados son, sin embargo, un tema tan vasto que podrían ser considerados en una investigación independiente.

Colaboración con grupos latinoamericanos de investigación

La colaboración con grupos de Brasil, Argentina y México para proyectos en nanotecnología y agua sería muy conveniente, ya que permitiría el intercambio de conocimientos específicos y de equipamiento. El grupo encabezado por Juan Rodríguez, del IPEN-UNI mantiene contacto desde hace varios años con los grupos argentinos del CNEA, dirigidos por Miguel Blesa. Ellos participan en un proyecto que consiste en la descontaminación de agua en zonas rurales o de bajos recursos económicos en varios países latinoamericanos con el financiamiento de la OEA. La experiencia ganada en este proyecto, especialmente en el trabajo de campo en poblaciones peruanas, son un gran aporte para las discusiones técnicas de descontaminación que usen

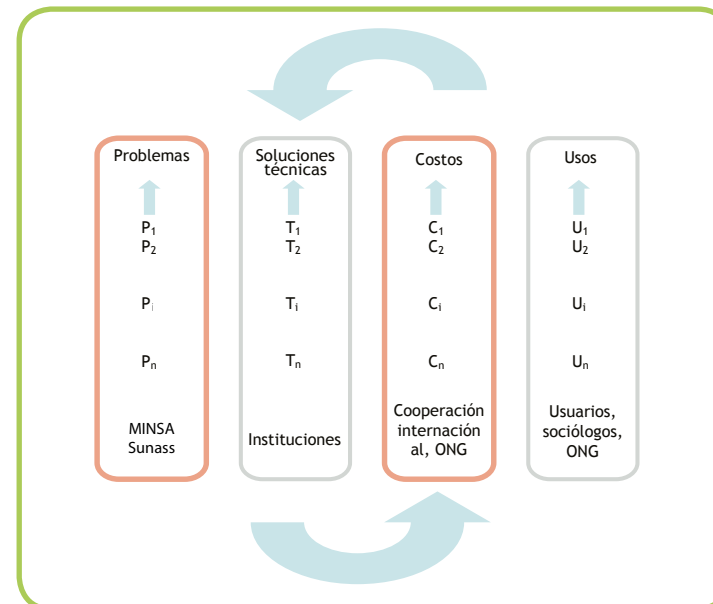
nanotecnología. Las tres universidades mexicanas que expresaron su interés en trabajar en filtros nanoporosos (UPA, UASLP, UNAM) podrían ser cooperantes estratégicos si se elige esta opción de trabajo. El equipamiento y desarrollo de estos grupos es de primer nivel. Varios de los grupos nacionales de trabajo peruanos mantienen contactos con grupos extranjeros que podrían ser involucrados en un proyecto conjunto, de darse la iniciativa.

Planteamientos para una propuesta técnica

Una propuesta técnica cuyo objetivo sea la mejora de la calidad del agua para consumo humano o el tratamiento de aguas residuales, ya sean de origen doméstico o industrial, tiene muchas soluciones técnicas convencionales. Si se trata de explorar las posibilidades de la nanotecnología para este fin, debemos aceptar un grado adicional de incertidumbre debido a la novedad de la técnica. Un esquema simplificado de los criterios a considerar para la solución de un problema técnico se muestra en la **figura 7**.

1. Identificación del problema: es posible establecer prioridades (P), conociendo el número de afectados o el impacto social. En esta etapa se debe determinar el problema de mayor importancia (P_1), puede ser aquel que ocasiona enfermedades infecciosas por contaminación microbiológica, toxicidad con metales, residuos de hidrocarburos, etc. Es necesaria la participación de expertos en salud que informen en base a estadísticas los casos de contaminación más importantes y el lugar de ocurrencia. Esta etapa se realiza a nivel de Estado (ministerios u organismos especializados)
2. Soluciones técnica-económicas: una vez conocido el problema prioritario, se deben proponer un conjunto de posibles técnicas viables (T), que le den solución a P_1 , estableciendo en cada caso su costo de implementación (C). En esta etapa, se obtienen pares de variables $T_1, C_1; T_2, C_2$; etc. Debe establecerse un criterio para valorar la técnica más viable y de menor costo. Una de las técnicas posibles de solución puede caer en el ámbito de la nanotecnología. Esta discusión se da a nivel académico
3. Viabilidad del uso de la tecnología propuesta (U): puede haber coherencia técnica y económica en una propuesta pero factores culturales pueden prevenir que se logre. Este factor es muy importante y en la discusión sobre la implementación deben participar los consumidores finales, ONG y sociólogos. Al final del proceso, se debe cuantificar cada variable para obtener el mejor valor de P_1

Figura 7. Esquema de solución de problemas



Fuentes de financiamiento

Las fuentes de financiamiento para un proyecto relacionado con nanotecnología y agua dependen mucho de los objetivos que se planteen. Si el proyecto consiste en el fortalecimiento de capacidades, es decir un conjunto de acciones para fortalecer el vínculo entre los actores sociales y la capacidad de investigación, es más probable obtenerlos a partir de fuentes gubernamentales como el Concytec o universidades.

Si el proyecto es de I+D en un tema vinculado a la descontaminación o sanidad del agua, las fuentes de financiamiento pueden ser de ONG, el Concytec y agencias de cooperación internacional. Si el proyecto es de implementación de una tecnología ya probada, con posibilidades de generar un producto comercial, se podría añadir a los actores mencionados el Fondo para la innovación, la ciencia y la tecnología (Fincyt).

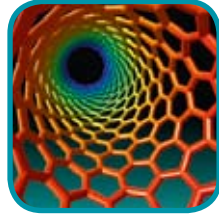
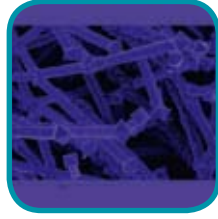
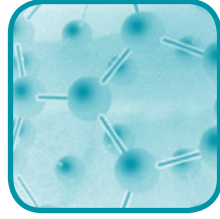
Otras organizaciones que podrían otorgar financiamientos son el Consorcio de universidades (PUCP, UL, UP, UPCH) y los fondos y presupuestos participativos que los gobiernos regionales disponen para proyectos de inversión orientados al desarrollo del agua y saneamiento para mejorar de la calidad de vida de sus poblaciones.

Red peruana de nanotecnología

Al no tener un programa nacional de nanotecnología, los esfuerzos aislados de los investigadores peruanos se diluyen en el tiempo. El establecimiento de una red peruana de nanotecnología podría compensar esta deficiencia. Se dedicaría a promover el trabajo interdisciplinario, estableciendo enlaces entre los investigadores de diferentes instituciones, difundir los avances en investigación, fomentar el uso compartido de la infraestructura experimental, constituirse en un vocero calificado y actor social que pueda opinar en las implicancias de la nanotecnología en los aspectos más generales de la vida social.

Quisiéramos, finalmente, sugerir algunas líneas de investigación que podrían formar la red:

- Síntesis y caracterización de nanomateriales (nanopartículas, nanotubos)
- Filtros y membranas nanoestructuradas para tratamiento de agua
- Catálisis y fotocatalisis con nanopartículas
- Modelamiento molecular
- Nanotoxicología
- Nanomedicina



6. Bibliografía

Aguirre, C.; Mercado, A.; Aguirre, A.; Paredes, C.; Portugal, R.; Aguilar, J. «Tecnologías convergentes en los países andinos». En: *Revista Latinoamericana de Economía*. La Paz: IISEC/UCB, 2007.

Albornoz, M. *Situación de la ciencia y la tecnología en las Américas*. Buenos Aires: Centro Redes, 2002.

CFC. *Overview of the Situation of Commodities in Developing Countries*. La Habana: CFC, 2005.

Checkland, P. «Towards a Systems Based Methodology for Real World Problem Solving». En: *Journal of Systems Engineering*. 3(2). 1972. pp. 87-116.

Checkland, P.; Scholes, J. *Soft Systems Methodology in Action*. Chichester: John Wiley, 1990.

Coupe, S.; Hellin, J.; Masendeke, A.; Rusike, E. *A Farmers' Jury: Smallholder Agriculture in Zimbabwe*. Rugby: ITDG Publishing, 2005.

Crichton, M. *Prey*. Londres: Harper Collins, 2002.

Dantas, E. «The System of Innovation Approach and its Relevance to Developing Countries». En: *SciDev.Net*. 2005. <http://www.scidev.net/en/policy-briefs/the-system-of-innovation-approach-and-its-relevanc.html> (visto por última vez: 26 de junio de 2009).

Edgerton, D. *The Shock of the Old: Technology and Global History since 1900*. Londres: Profile Books, 2006.

ETC Group. *The Potential Impacts of nano-Scale Technologies on Commodity Markets: The Implications of Commodity Dependent Developing Countries*. Ginebra: South Centre, 2005.

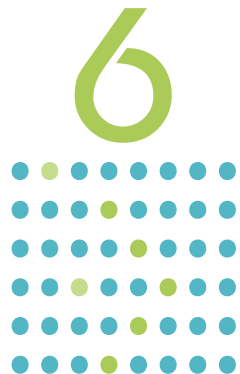
Forero, C.; Gómez, F. *El desarrollo de las tecnologías convergentes alrededor de la escala nano en Colombia. Informe preparado para el proyecto Tecnologías convergentes en los países andinos*. Bogotá: s/e, 2007.

Fox, N. *Against the Machine: The Hidden Luddite Tradition in Literature Art and Individual Lives*. Washington D.C.: Shearwater Books, 2002.

French, A. *Nanotechnology: New Opportunities, New Risks*. Londres: Benfield Group, 2004.

Goncalves, F. *Estudio exploratorio acerca de los recursos existentes en las tecnologías convergentes en Venezuela, caso Nanotecnología, periodo 1990-2005*. Caracas: Instituto venezolano de investigaciones científicas, 2006. Tesis para optar por el grado de master.

Grimshaw, D.; Stilgoe, J.; Gudza, L. «Societal Implications». En: Diallo, M.; Duncan, J.; Savage, N. Street, A.; Sustich, R. (Eds). *Nanotechnology Applications: Solutions for Improving Water Quality*. Nueva York: William Andrew Publishers, 2009.



Grimshaw, D.; Stilgoe, J.; Gudza, L. *The Role of New Technologies in Potable Water Provision: A Stakeholder Workshop Approach*, Practical Action: Rugby, 2007.

Grove-White, R.; Macnaghten, P.; Wynne, B. *Wising Up: The Public and New Technologies*. Lancaster: Centre for the Study of Environmental Change-Lancaster University, 2000.

Gupta, M.; Aguirre B. *Policy Making in Science, Technology and Innovation in Latin America and the Caribbean*. Ciudad de Panamá: s/e, 2006.

Gutarra, E. *Panorama y perspectivas de la micro y nanotecnología en el Perú*. Lima: s/e, 2007.

Hille, T.; Munasinghe, M.; Hlope, M.; Deraniyagala, Y. «Nanotechnology, Water and Development». En: *Meridian Institute*. <http://www.merid.org/nano/waterpaper/NanoWaterPaperFinal.pdf> (visto por última vez: 15 de junio de 2009).

Holister, P. *Nanotec: The Tiny Revolution*. En: *CMP Científica*. http://www.cientifica.com/html/Whitepapers/wpfiles/nanotech_WP.pdf (visto por última vez: 7 de junio de 2009).

Kearnes, M.; Macnaghten, P.; Wilsdon, J. *Governing at the Nanoscale: People, Policies, and Emerging Technologies*. Londres: Demos, 2006.

Lanier, J. «One Half of a Manifesto». En: *Wired Magazine*. 8(12). 2000. pp. <http://www.wired.com/wired/archive/8.12/lanier.html?pg=1> (visto por última vez: 14 de junio de 2009).

Lin, P. «Nanotechnology Bound: Evaluating the Case for More Regulation». En: *NanoEthics: Ethics for Technologies that Converge at the Nanoscale*. 2. 2007. pp. 105-122.

McConnell, M. *Challenger: A Major Malfunction*. Londres: Unwin Hyman, 1988.

Meridian Institute. *Final Report on the Workshop on Nanotechnology and Commodities*. Washington D.C.: Meridian Institute, 2007.

Meridian Institute. *Overview and Comparison of Conventional Treatment Technologies and Water Nano-based Treatment Technologies*. Washington D.C.: Chennai, 2006.

Mnyusiwalla, A.; Daar, A.; Singer, P. «Mind the Gap: Science and Ethics in Nanotechnology». En: *Nanotechnology*. 14. 2003. pp. 9-13.

National Science and Technology Council. *The National Nanotechnology Initiative Strategic Plan*. http://www.nano.gov/NNI_Strategic_Plan_2007.pdf (visto por última vez: 23 de junio de 2009).

Porritt, J. *Capitalism as if the World Matters*. Londres: Earthscan, 2006.

Prahalad, C.; Hammond, A. «Serving the World's Poor Profitably». En: *Harvard Business Review*. 80(9). 2003. pp. 48-57.

Radford, T. «Science Society asks if Small is Still Beautiful». En: *The Guardian*. 12 de junio de 2003. <http://www.guardian.co.uk/life/news/story/0,12976,975874,00.html> (visto por última vez: 7 de junio de 2009).

Rejeski, D. *Testimony on Environmental and Safety Impacts of Nanotechnology: What Research is Needed?* Washington D.C.: Committee on Science of the US House of Representatives, 2005.

Renn, O.; Roco, M. *Nanotechnology Risk Governance*. Ginebra: International Risk Governance Council, 2006.

ResponsibleNanoCode. <http://www.responsiblenanocode.org> (visto por última vez: 19 de junio de 2009).

Roco, M.; Bainbridge, W. (Eds). *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001.

Roco, M.; Bainbridge, W. «Overview of the Report NSF/DOC». En: Roco, M.; Bainbridge, W. (Eds). *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*. Arlington: NSF, 2002.

Royal Society and Royal Academy of Engineering. *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*. Londres: Royal Society, 2004.

Royal Society and Royal Academy of Engineering. *Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties*. Londres: Royal Society, 2004.

Rusike, E. «Exploring Food and Farming Futures in Zimbabwe: A Citizens' Jury and Scenario Workshop Experiment». En: Leach, M.; Scoones, I.; Wynne, B. (Eds). *Science and Citizens*. Londres: Zed Books, 2005. pp. 249-255.

Sachs, J. *The End of Poverty*. Londres: Penguin, 2005.

Salamanca-Buentello, F.; Persad, D.; Court, E.; Martin, D.; Daar, A.; Singer, P. «Nanotechnology and the Developing World». En: *PLoS Medicine*. 2(4). 2005. pp. 300-303.

Schmid, G. *Nanotechnology: What is in Store for us?* Munich: Munich Re Group, 2002.

Schumacher, E. *Good Work*. Londres: Jonathan Cape, 1979.

Scott, S. *Fierce Conversations*. Nueva York: Viking, 2003.

Stilgoe, J. *Nanodialogues: Experiments in Public Engagement in Science*. Londres: Demos, 2007.

Stilgoe, J. *Nanodialogues: Experiments in Public Engagement with Science*. Londres: Demos, 2007.

Stix, G. «Editorial». En: *Scientific American*. 285(5). 2001.

Vega-Centeno, M.; Morales, R.; Roselli, R. *Tecnologías convergentes en Perú. Informe preparado para el proyecto Tecnologías convergentes en los países andinos*. Lima: s/e, 2007.

Velho, L. *Science and Technology in Latin America and the Caribbean: An Overview*. Maastricht: United Nations University, 2004

Vessuri, H.; Sánchez, I. *Tecnologías convergentes en Venezuela. Informe preparado para el proyecto Tecnologías convergentes en los países andinos*. Caracas: s/f, 2007.

Wakeford, T. «Citizen's Juries: A Radical Alternative for Social Research». En: *Social Research Update*. 37. 2002. <http://www.soc.surrey.ac.uk/sru/SRU37.pdf> (visto por última vez: 14 de abril de 2006).

Wilsdon, J.; Wynne, B.; Stilgoe, J. *The Public Value of Science: Or How to Ensure That Science Really Matters*. Londres: Demos, 2005.

Winner, L. *The Whale and the Reactor*. Chicago: University of Chicago Press, 1986.

Wood, S.; Jones, R.; Geldart, A. *The Social and Economic Challenges of Nanotechnology*. Swindon: ESRC, 2003.

Wootliff, B. «British Scientist: Nanoparticles Might Move from Mom to Fetus». En: *Smalltimes Magazine*. http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=7223&keyword=British%20and%20scientist&summary=1&startsum=1 (visto por última vez: 14 de junio de 2004).

7.1. Anexo 1: ¿Cómo pueden las nuevas tecnologías satisfacer las necesidades de los países en desarrollo?

David Grimshaw¹

Abstract

En un esfuerzo por involucrar a los ciudadanos en diálogos complejos, se llevaron a cabo experimentos para determinar el compromiso público con la ciencia, durante los años 2005 y 2006. En este capítulo se discutirán estos compromisos, con un enfoque particular sobre los resultados de nanodiálogos en Zimbabue, realizados en julio de 2006, involucrando a científicos y representantes de dos comunidades que enfrentan problemas con su suministro de agua potable. También se realizaron diálogos adicionales en Lima, en noviembre de 2007 y abril de 2008, en base a experiencias previas tratando de que los diálogos se conviertan en un compromiso de la ciencia para el desarrollo.

2.1. Las nuevas tecnologías científicas y países en desarrollo

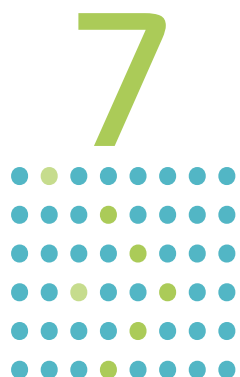
Vivimos en un mundo de constantes cambios. Los avances tecnológicos incrementan la productividad, ingresos, calidad y esperanza de vida, pero para el mundo desarrollado. La verdad es que el desarrollo tecnológico se enfoca en cumplir con las demandas de los grandes consumidores y presta muy poca atención a las necesidades vitales de las personas en los países en vías de desarrollo. Las nuevas tecnologías generalmente generan una mayor brecha entre los ricos y pobres en el mundo. Hasta el día de hoy existen innovaciones que no se pueden aplicar en los países en desarrollo donde más se necesitan. El fundador de **Practical Action** notó que «las nuevas tecnologías se desarrollan solo donde la gente rica y de poder respalda el desarrollo» (Schumacher, 1979).

Porritt (2006) sostuvo que para permitir un desarrollo sostenible debemos trabajar a favor del sistema de mercado no en su contra. Esto quiere decir que debemos comprender los mecanismos del mercado, los procesos de innovación y trabajar con las principales partes interesadas para permitir que los modelos de negocio utilizados se dirijan a las necesidades humanas y no a las demandas del consumidor. Con las tecnologías existentes esto resulta un reto porque los modelos de negocio, incluyendo la logística de la cadena de distribución, están ya establecidos. Para las nuevas tecnologías existe una ventana de oportunidades antes de que los productos salgan al mercado.

En una economía globalizada, muchos temas, como desarrollo sostenible, cambio climático y democracia, están influenciados por la función de la ciencia y la tecnología en la sociedad. El mayor reto es liberar el valor público asignado a gastos de ciencia y tecnología, y canalizarlo para ayudar a reducir la pobreza en los países en desarrollo (Wilsdon *et al.*, 2005). El concepto de valor público se refiere al valor económico generado por la ciencia y la tecnología, no solo al aprovechado por el mercado. Liberar el valor público de la ciencia en un contexto global es uno de los retos más importantes que enfrentan las sociedades de todo el mundo actualmente.

El reto enfrentado puede replantearse como la manera de facilitar la producción de nuevas tecnologías que respondan a las necesidades humanas y no las demandas de los consumidores.

1 Doctor en sistemas información por la Universidad de Warwick, es líder del equipo internacional del programa de nuevas tecnologías de **Practical Action** en el Reino Unido. Actualmente colabora con las universidades de Sussex, Lancaster, Durham en un proyecto de nuevas tecnologías financiado por el Consejo de investigación de ingeniería y ciencias físicas (EPSRC).



2.2. ¿Cómo pueden las nuevas tecnologías de la ciencia dar un valor público?

El papel que la tecnología desempeña en el desarrollo es más importante en este siglo de lo que fue en siglos anteriores. En la era de la globalización, las nuevas tecnologías transforman los estilos de vida y las formas de trabajo alrededor del mundo rápidamente. El cambio tecnológico corre a un ritmo cada vez más acelerado, superando la capacidad de la sociedad de comprender y controlar sus impactos, incluso cuando las implicancias son profundas y de gran alcance, como la biotecnología.

La mayoría de las investigaciones científicas y tecnológicas se encuentran en el sector privado, enfocadas a satisfacer los deseos del norte y no las necesidades del sur. Los pequeños agricultores y el sector informal prestan muy poca atención a la innovación tecnológica a menor escala.

El conocimiento y las industrias basadas en las comunicaciones están transformando rápidamente la economía global. Mucha gente cree que estas tendencias contribuyen a una nueva división del conocimiento entre la información para los ricos y aquella para los pobres. Existe una necesidad urgente en el norte y en el sur por recobrar el control de cómo se desarrollan y usan las nuevas tecnologías. No es común que los pobres puedan innovar, sin embargo, es importante que las innovaciones que surjan de países en desarrollo sean reconocidas y apoyadas cada vez con mayor fuerza.

Las ideas tradicionales de la tecnología que dependen de un modelo lineal de innovación y difusión no son adecuadas para los programas que buscan responder a las nuevas tecnologías (Dantas, 2005). La visión predominante sobre la tecnología se ha basado en modelo determinista. Como Winner (1986) sugiere: «la adopción de un sistema técnico requiere crear condiciones sociales específicas como un entorno adecuado para la operación de ese sistema». Este pensamiento lleva a una filosofía de impulso tecnológico, como la vista en el lema de la feria mundial de Chicago en 1933: «La ciencia explora, la tecnología efectúa, el hombre adapta» (Fox, 2002). Esta filosofía se basa en una visión mundial donde predomina el norte. El poder representado por compañías transnacionales con grandes presupuestos para la investigación y desarrollo bajo condiciones de mercado casi monopólicas. Un ejemplo de este comportamiento es el dominio de Microsoft en el mercado del software. **Practical Action** considera que la tecnología no sólo es un componente físico o una estructura técnica, sino también información, conocimiento, habilidades y capacidades para organización y uso.

Es necesaria una visión alternativa de la tecnología. Grove-White (2000) han sugerido una aproximación al problema como si fuera un proceso social. Esta visión debe reconocer la función del usuario (pobre del sur) y el contexto dado por el entorno cultural y político. Esta distinción es llamada *tecnología en uso* por Edgerton (2006), quien menciona que la idea de un énfasis histórico en la innovación tecnológica no es completamente correcta. Muchas de las tecnologías que se usan en el mundo son adaptaciones o imitaciones, no innovaciones.

El acceso a agua potable está asegurado en los objetivos de desarrollo del milenio (ODM). Muchas veces las propuestas para suministrar agua a comunidades pobres han sido dirigidas por intereses económicos o tecnológicos. El camino de la economía generalmente se centra en la importancia de los reglamentos, instituciones y mercados abiertos; mientras que la propuesta que parte de un enfoque tecnológico se enfoca más en diseñar una bomba de agua, un sistema de filtro o una aplicación de nanotecnología. Sin embargo, la tecnología para realizar esta tarea es conocida desde la época del Imperio romano. La falla en la resolución de estos problemas, entonces, puede ser considerada un problema cultural, político o de administración.

Los enfoques sobre las áreas de aplicación más importantes para ayudar a la gente pobre se orientan a dos sectores: agua y electricidad. En estos dos sectores, las aplicaciones de la nanotecnología pueden proporcionar productos potencialmente beneficiosos para solucionar los problemas más apremiantes que tiene la gente pobre, según los expertos reunidos por el Instituto Meridian para la asesoría del proyecto Rockefeller. Según un estudio reciente, las tres principales aplicaciones que podrían ayudar a los países en

desarrollo son: almacenamiento, producción y conversión de energía; mejora de la productividad agrícola y tratamiento de agua (Salamanca-Buentello *et al.*, 2005).

2.3. Nanodiálogos en Zimbabwe

El año 2006, investigadores de Demos, **Practical Action** y la Universidad de Lancaster colaboraron en un proceso diseñado para involucrar a las comunidades de Zimbabwe y científicos (del norte y del sur) en debates sobre nuevas (nano) tecnologías.

El diálogo fue uno de cuatro experimentos, conjuntamente referidos como nanodiálogos, parte del compromiso público con nanotecnologías, establecido por el programa *Sciencewise* de la Oficina de ciencia y tecnología del gobierno del Reino Unido. *Sciencewise* se creó para fomentar la interacción entre científicos, gobiernos y el público sobre los impactos de la ciencia y tecnología.

En el diálogo se escogió el tratamiento del agua como punto principal. Primero, en términos de desarrollo, es una prioridad muy bien establecida; segundo, la tecnología está en una etapa en la que puede hacer una contribución importante para la filtración y descontaminación. Los ODM establecen la necesidad de reducir a la mitad el número de personas sin acceso sostenible a agua potable y servicios sanitarios básicos para el año 2015. Nuestro diálogo buscó introducir las visiones y valores de personas para quienes el agua potable es un problema diario, en los debates sobre las posibles soluciones técnicas. Además, al involucrar a los científicos encargados de las investigaciones, se añade complejidad al debate. Esperamos que uno de los resultados de este ejercicio sea el diálogo sostenido entre científicos y usuarios finales, que permitirá que las nuevas tecnologías estén dirigidas a las necesidades humanas y no a las demandas del mercado.

Los gobiernos, empresas y ONG piensan que la nanotecnología es *lo mejor por venir*. Pero junto a las promesas de valiosas nuevas oportunidades también vienen incertidumbres acerca de los riesgos, ética y los beneficios para aquellas personas que generalmente se dejan de lado en las conversaciones sobre los objetivos de la tecnología: los pobres. Los potenciales beneficios de las aplicaciones de nanotecnologías en los países en desarrollo son emocionantes, pero se necesitan cultivar las conversaciones que vinculan las necesidades de las personas en los países en desarrollo y los recursos y el conocimiento científico alrededor del mundo.

Epworth es un suburbio de Harare, pero parece una zona rural. Se encuentra justo afuera de los límites de la ciudad, lo que significa que no tiene el apoyo de la ciudad. El 2005 ocurrió uno de los más severos desalojos de barrios del país, conocido como *Operación Murambatsvina* o sacar la basura, encargado por el presidente, Robert Mugabe, que dejó miles de personas sin hogar.

Epworth obtiene su agua de una combinación de norias y manantiales. El agua del pozo parece lo suficientemente limpia, pero por la contaminación de la ciudad, es imposible saber qué contiene. Nuestro guía, uno de los líderes de la comunidad, encoge los hombros diciendo: «Nosotros debemos revisarla». Aunque Epworth es una zona marginada, está lo suficientemente cerca a la ciudad para tener espacios reducidos. No hay mucho espacio y se necesitan excavar los pozos donde haya agua. Cerca de ahí se está creando un nuevo pozo. En el fondo de una fosa de seis metros, un hombre está llenando un balde con arena mojada. Sus compañeros jalan el balde y apilan la arena alrededor del borde de la fosa. Ya han pasado dos días, pero les tomará tres días más. Luego, tendrán que sellarlo y ponerle una tapa. El pozo está junto a un baño de hoyo seco. Esto no es lo ideal y es una de las razones por la que los nuevos métodos de sanidad son tan importantes.

Figura 1. Escena de Epworth



2.4. Agua de manantial (Epworth, Zimbabue)

Cualquier conversación sobre la tecnología en Epworth tiene que empezar en este tema. En Zimbabue existe un contexto claro: un estado que no cumple y una economía cada vez más pequeña y fuera de control. En este día a día no es muy probable generar reacciones con la nanotecnología por sí sola. Si se pregunta a las personas qué tecnologías les gustaría tener para ayudarlas en el proceso de obtención de agua, ellas mencionan sogas y bombas de lavado, que reemplazan a los pozos abiertos que producen enfermedades.

Las personas en los países en vías de desarrollo no tienen mucha voz en cuestiones de ciencia y tecnología: no es probable que disfruten de sus beneficios y es posible que sufran sus efectos negativos. La Sociedad real (Royal Society, 2004) y Academia de ingenieros real presentaron su punto de vista sobre los escenarios idílicos planteados por los promotores de la nanotecnología en países en vías de desarrollo:

Mucha de la literatura visionaria (...) contiene afirmaciones repetidas sobre los principales impactos a largo plazo de la nanotecnología en la sociedad mundial: por ejemplo, que suministrará energía económica sostenible, soluciones medio ambientales, avances radicales en diagnósticos médicos y en tratamientos, capacidades en TI más poderosas y mejores productos para el consumidor (...). Sin embargo, también es legítimo preguntarse ¿quiénes se beneficiarán? Y más importante ¿quién será dejado atrás? (...) Existen preocupaciones sobre el potencial que podría tener la nanotecnología para ampliar la brecha entre los países pobres y ricos debido a sus diferentes capacidades para desarrollar y explotar nanotecnologías, generando una brecha conocida como nanodivisión.

Otras contribuciones, como el diálogo global del Instituto Meridian sobre la nanotecnología y los pobres, han incentivado una discusión más amplia sobre sus posibles beneficios. Un estudio académico que recabó opiniones de las personas acerca de la nanociencia y el desarrollo, concluyó que las tres principales aplicaciones son en energía, agricultura y agua. Para nuestro segundo experimento, escogimos estudiar la importancia de la nanotecnología en el suministro de agua potable. Demos trabajó con **Practical Action** (antes ITDG), organismo de cooperación técnica internacional ONG que por los últimos 40 años ha trabajado en la adaptación de tecnología a usuarios en países pobres: su visión es que la tecnología adecuada, sostenible y utilizable debe adaptarse a las necesidades humanas y no a los mercados.

En Harare se realizó un taller de tres días con agricultores locales de champiñones, fabricantes de ladrillos y científicos. El grupo de “no científicos” estaba formado por representantes de las comunidades que trabajaron con **Practical Action**, tres de Epworth y tres de Chakohna, una comunidad rural cerca a Chimanimani, en las montañas al este de Zimbabue. Los científicos eran parte de organismos gubernamentales, universidades y organizaciones benéficas. Los participantes le pusieron el nombre al taller de *Nanokutaurirana*, un neologismo en shona que significa nanodiálogo. Durante el primer día y medio, la palabra nanotecnología no se mencionó; primero se buscó que las personas definieran sus problemas.

Su descripción del problema tuvo múltiples orígenes. El agua es un *commodity*, es inasequible, escasa y está muy lejos, sin embargo la responsabilidad de su recolección generalmente la tienen mujeres y niñas. Los pozos se encuentran amontonados al lado de las letrinas y es difícil asegurar que no se contaminen. Cerca de Herere, hay mucha contaminación química proveniente de fábricas, además de una reciente epidemia de cólera.

En las afueras de la ciudad, la comunidad rural informó que el agua estaba contaminada por depósitos de sal natural. Al término del primer día, teníamos un borrador sobre los problemas y sus dimensiones sociales, técnicas y políticas. Cuanto más se analizaba el problema, parecía mejor idea mantener la nanotecnología. Los representantes de la comunidad han tenido malas experiencias con

Figura 2. Metodología de sistemas blandos

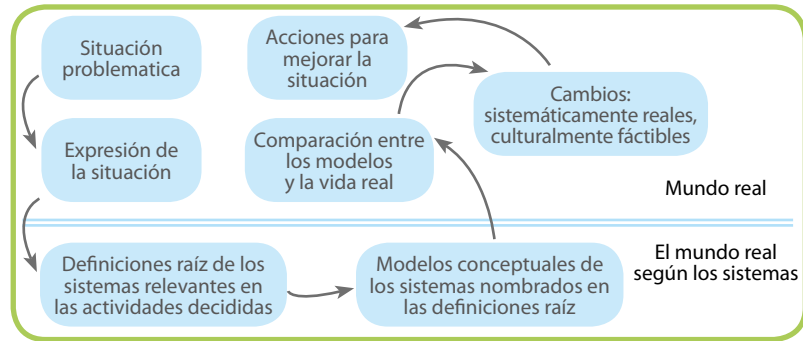
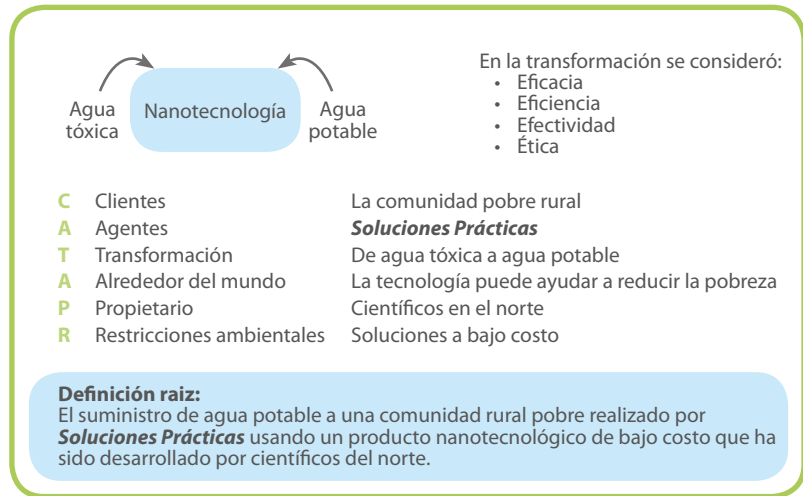


Figura 3. Comprensión de la situación del problema



aplicaciones tecnológicas. Las bombas de agua tenían instrucciones en inglés o alemán; cuando se dañaban las palancas o se atoraban los filtros, no podían encontrar las piezas o no sabían cómo repararlos. Uno de los representantes de la comunidad preguntó, «cuando ya no esté la ONG, ¿quién sabrá manejar o mantener esta tecnología?».

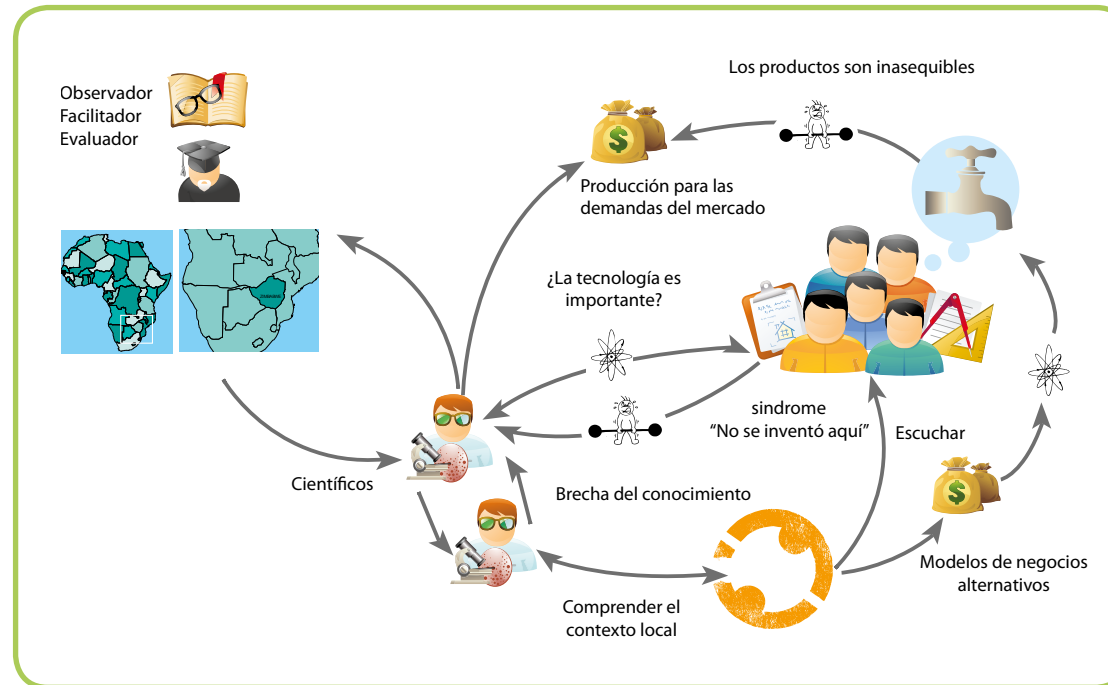
Al reconocer las características anteriores iniciamos un enfoque sistemático. Muchos problemas complejos de ciencia, ingeniería o en otras áreas tienen algunas características en común. Algunas veces las metodologías de sistemas duros han fallado, como en el desastre del Challenger en 1986, cuando la nave espacial explotó minutos antes de despegar, matando a sus 7 tripulantes. ¿Fue un problema mecánico, administrativo o político? McConnell (1988) dice que en la NASA el énfasis en las consideraciones tecnológicas ha sido sobrepasado por enfoques directivos, comerciales y políticos. Este es un buen ejemplo sobre la manera en la que pensamos en los efectos de los problemas según las actividades que se desarrollan. Hay dos moralejas en esta historia: primero, está comprobado que en situaciones problemáticas complejas vale la pena tener un enfoque sistemático; segundo «lo que en realidad hizo que no se definieran correctamente las situaciones fue que los objetivos no eran claros y qué hacer y cómo hacerlo eran aspectos problemáticos» (Checkland & Scholes, 1990).

Por ello, el diálogo tomó una metodología de sistemas blandos (**ver figura 2**). La esencia de la metodología de sistemas blandos es buscar diálogos naturales, con moderadores que usan una metodología para mantener la sistematicidad de los resultados en cada sesión.

La situación que presentamos en la siguiente figura se comprendió en el taller realizado en Zimbabue. Antes de los talleres se conceptualizó una definición raíz y el CATAPR (clientes, agentes, transformación, visión global, propietario y restricciones ambientales), listas para probarse en el diálogo durante los dos días del taller.

Nuestro enfoque fue llevar la experiencia que tuvo **Practical Action** en involucrar a las personas en países en desarrollo para aplicarla en debates sobre las nuevas tecnologías. La **figura 4** muestra la situación del problema en un gráfico más completo. Durante el primer día del taller los organizadores dibujaron este gráfico detallado de la presentación del problema. El gráfico busca explicitar las relaciones y conexiones existentes en el ciclo de trabajo.

Figura 4. Situación del problema



En la situación que se identificó hubo bastantes subsistemas. La **figura 5** ilustra los tres subsistemas con los que se trabajó. La **figura 6** muestra una posible interacción entre distintos aspectos de los tres subsistemas. El modelo conceptual muestra una serie de actividades que llevarán a la definición raíz.

Los académicos pueden preguntarse: ¿la metodología es buena? ¿Funciona? Pero en la vida real la mayoría de personas necesita encontrar una metodología funcional para ellos (no necesariamente para todos). «Si un lector le dice al autor: usé su metodología y funcionó, el autor responderá: ¿Cómo sabes si habrías logrado un mejor resultado con un enfoque apropiado para tu propósito? Si el lector le hubiera dicho: la metodología no funciona, el autor habría respondido de manera descortés: ¿Cómo sabes que los malos resultados que obtuviste no fueron causados por tu incompetencia al aplicar la metodología?» (Checkland, 1972).

En estas comunidades no estaban orgullosas de su tecnología local, sólo les importaba aquello que servía. El sistema que determina el problema debe desembocar en un sistema que provea una solución. Es por eso que el uso local de sogas y bombas limpiadoras tienen sentido. No tiene mucho de sistema, ninguna empresa es dueña de la tecnología o la vende y es lo suficientemente flexible como para encajar en diferentes sociedades. Los participantes estaban muy conscientes de este aspecto, como uno de ellos dijo: Todas estas tecnologías nuevas para nosotros son antiguas en otros países.

Como el historiador David Edgerton (2006) describe, mientras que en occidente se obsesionan sobre «el ritmo de la innovación... el mayor cambio está ocurriendo en la transferencia de técnicas de un lugar a otro». Los sistemas tecnológicos, la manera en que se usan, abusan y controlan, son políticos. Podemos juzgar las tecnologías según el tiempo en el que mantienen a los individuos en ciertos sistemas de explotación, como por ejemplo los cultivos modificados genéticamente y la energía nuclear centralizada; o cómo proveen una plataforma abierta para nuevos usos, como Linux o la microenergía renovable.

Figura 5. Subsistemas

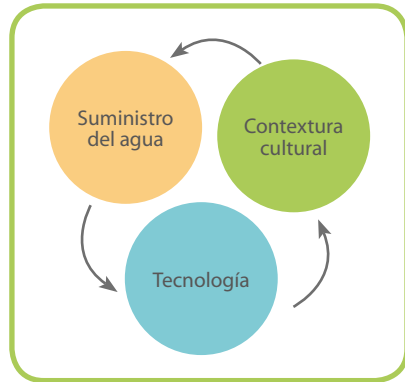
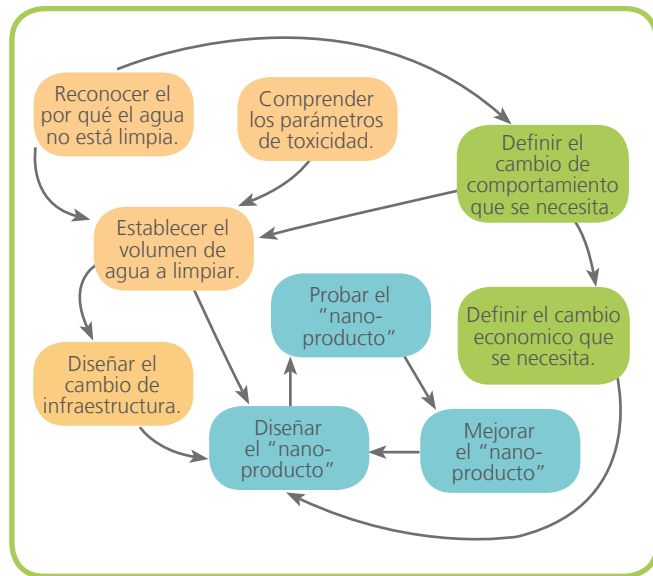


Figura 6. Modelo conceptual



Las tecnologías incorporan la definición de necesidad social y la promesa de una solución técnica. Definen ambos aspectos como un problema y su solución. Los sistemas de investigación, innovación o regulación de la que forman parte pueden dificultar esta definición. Mientras que en Inglaterra podemos dar por sentado un sistema (transporte, mantenimiento, mercados y una economía estable), en Epworth esto necesita una evaluación detallada. En lugar de empezar por la tecnología, necesitamos empezar del contexto local y pensar en las alternativas.

Edgerton (2006) plantea que las políticas de las nuevas tecnologías han limitado la consideración de alternativas. «Las alternativas están en todas partes, aunque muchas veces sean invisibles». Una discusión pública revela estas alternativas. Las tecnologías no obligan a la gente a hacer cosas, pero mientras abran nuevas puertas, existe el peligro de que oportunidades comunes (y por ello anteriores o viejas) puedan desaparecer. Actualmente, cuando las intenciones mundiales se fijan en la nanociencia y el desarrollo, los políticos y científicos pueden olvidar que los aspectos más simples de las tecnologías viejas pueden beneficiar a la gente pobre de manera más rápida. En el momento de realizar un feedback de las opiniones del público a las instituciones que trabajan nanotecnología, siempre nos preguntan si las preocupaciones del público son especialmente por la nanotecnología o son más generales; nuestra respuesta muchas veces ha sido que la nanotecnología es un buen punto para iniciar la conversación, pero que las preocupaciones siempre van más allá de ella. En Zimbabwe, el hecho de hablar o no sobre nanotecnología parecía más urgente.

En la mitad del segundo día en el taller, introducimos la nanotecnología. Unas semanas antes, Hille (2006) dio algunos ejemplos de nanoproduetos en países en desarrollo. Su informe fue muy claro en mencionar que la difusión de estas tecnologías estuvo un poco adelantada, pero mostró algunos ejemplos de filtros de agua a nanoescala que funcionan en Sudáfrica.

Nuestros participantes compartieron comprensivamente la emoción que existe en occidente por la nanotecnología. Incluso, para los asistentes parte de la comunidad científica, habían algunas posibilidades de incluirse en la ola de trabajo con la nanotecnología. El grupo preguntó sobre la aplicación, alternativas, impacto ambiental, costo, mantenimiento, capacidad de fabricación y de mantener la base para la elaboración de aplicaciones nanotecnológicas localmente; preguntaron si las tecnologías eran fijas o se podían adaptar a las necesidades locales, si significaría un incremento del empleo para los científicos en Zimbabwe o una mayor dependencia de occidente, también preguntaron sobre la escala de aplicación que tendría. ¿Eran el tipo de filtros que se usan de manera central, en plantas de tratamiento estatales o se pueden colocar en escuelas y ser controladas por la comunidad? El experimento reveló el gran abismo entre investigación y difusión. Empezamos a ver los pasos que se deberían tomar para relacionar la innovación con las necesidades humanas en un lugar como Epworth.

La tentación es ver el problema como intratable, afirmar que la ciencia no tiene nada que ofrecer y que la solución es que Zimbabwe se encargue de sus problemas. Pero todo esto negaría el gran potencial de la colaboración constructiva. Alrededor del mundo existen grandes esfuerzos para descubrir la manera de dirigir las nuevas tecnologías para satisfacer necesidades humanas. Un enfoque más positivo puede plantear cómo estos esfuerzos pueden traer mayores beneficios.

A manera de avance, pedimos a nuestros participantes que propongamos una serie de recomendaciones para los científicos ingleses. Se concluyó que la innovación se debe enfocar en una nueva dirección, pero la colaboración puede ser enormemente positiva cuando hay una historia que contar, es decir, cuando se empieza con una idea concreta que beneficie. Los científicos de Zimbabwe reconocieron que en muchos casos, debido a la desigualdad de recursos, los científicos occidentales tendrían que liderar la investigación, pero en la investigación deben reconocer el valor de los conocimientos locales y trabajar con científicos del sur para mejorar sus capacidades y darles más responsabilidades. También recomendaron algunas medidas inmediatas, como el acceso a publicaciones científicas.

Cuando regresamos a Inglaterra, fuimos a visitar a Mark Welland en Cambridge. Estábamos ansiosos de ver cómo podíamos relacionar las necesidades de la gente con la ciencia y volver a la investigación base. Welland dirige el Centro de nanociencia en la Universidad de Cambridge, pero también es codirector del Centro Yousef Jameel de ciencia e investigación tecnológica en la Universidad Americana en Cairo. Su equipo de investigación trabaja en base a la curiosidad científica, pero incentiva a sus colegas a reflejar el valor público como parte de su trabajo. En uno de sus seminarios en el centro de nanociencia, les contamos a los científicos sobre nuestro viaje a Zimbabwe y pedimos sus opiniones y preguntas.

En Zimbabwe, los científicos opinan que la participación de la comunidad es una parte vital y altamente complicada de lo que significa para ellos hacer buena ciencia e ingeniería. En Inglaterra, los sistemas trabajan en contra de la comunidad o el compromiso público. Al hablar con nuestros jóvenes investigadores en el Centro de investigaciones interdisciplinarias (IRC, por sus siglas en inglés) en Cambridge sobre nuestro experimento, estuvo claro que muchos de ellos tenían muchas ganas de usar sus habilidades para ayudar y satisfacer necesidades humanas o demandas sociales. Pero al avanzar en su formación, esta figura cambia y parece que «pierden el control sobre sus propios proyectos de investigación, sus impactos sociales».

Hasta el momento, la atracción de estos científicos está marcada por innovaciones, tecnologías comercializables o una definición limitada de investigaciones básicas. Necesitamos una comprensión más amplia de innovación, que otorgue un mayor valor a las necesidades de la gente en el mundo en desarrollo. Los jóvenes científicos en Cambridge se dieron cuenta de la magnitud del reto que se presenta a los sistemas establecidos, pero no estaban seguros de cómo continuar la conversación y cambiar las cosas desde adentro.

2.5. Nanodiálogos en Perú

Uno de los principales retos después de los diálogos en Zimbabwe era pasar del diálogo al compromiso por parte de los científicos. Se organizaron dos eventos en Lima. El primero, un seminario con alrededor de 200 participantes, donde se dio una conversación integrada por un grupo internacional de expositores. El segundo fue un taller con 30 personas, donde los principales interesados (académicos, gobierno, y ONG) podían discutir la priorización de los problemas de agua y cómo podrían ser entendidos y representados, traducidos a los científicos.

Durante el seminario y el taller, el Dr. Abel Gutarra realizó un estudio del estado de la nanotecnología en el Perú, descripción que se encuentra en el último capítulo del libro. Como resultado de su labor, se determinó que hay 25 científicos en Perú comprometidos en el trabajo a la escala nano.

Una gran parte del taller se destinó a trabajar en pequeños grupos para identificar los principales problemas de agua y tratar de priorizarlos. Los grupos de interesados discutieron las acciones que podrían asumir para tratar de resolver los problemas. Los principales problemas identificados incluyen:

- Contaminación de agua por metales pesados de la minería o curtiembre. Esto afecta el agua usada para consumo e irrigación
- Diagnóstico o sensibilización de la calidad del agua
- Falta de monitoreo o regulación de la calidad del agua
- Falta de alianzas estratégicas entre los grupos de interés
- Falta de concientización y educación en las poblaciones locales sobre los problemas relacionados al agua segura y saneamiento
- Falta de tecnologías accesibles, especialmente en áreas rurales

Algunas acciones fueron identificadas: cada grupo identificó (separadamente) el deseo de formar una red de nanotecnología para agua y saneamiento. Algunos científicos demostraron su interés en trabajar en un nanosensor para abordar el problema de diagnosticar o analizar la calidad del agua en áreas donde existen problemas de contaminación por metales pesados.

Las principales formas en las que se debe realizar el avance hacia un compromiso es incluyendo construcciones de capacidades locales, aclarando los riesgos e identificando modelos de negocios viables. Vivimos en una era de rápidos avances tecnológicos, con científicos creando constantemente nuevas innovaciones. A pesar de esto, muchos de estos avances no escapan del campo académico y no se implementan donde pueden ofrecer beneficios considerables en las vidas de aquellos que realmente lo necesitan. La razón de esta conducta es la mínima comunicación entre grupos y la falta de conciencia sobre lo que se necesita y lo que está disponible. Una nueva ONG llamada Science for Humanity busca resolver este problema uniendo a científicos y su trabajo con las necesidades de los otros (entiéndase otros por países pobres, en vías de desarrollo, etc.); trabajando conjuntamente con científicos, ONG y gobiernos para identificar los problemas y las posibles soluciones científicas, desarrollando una política y estableciendo fondos para investigación y aplicación de las tecnologías desarrolladas.

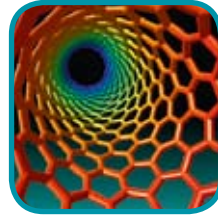
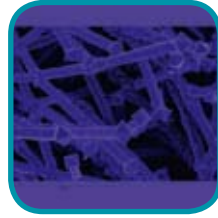
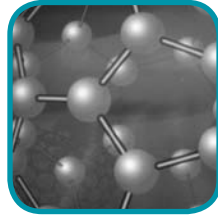
2.6. Sopesando el riesgo y la oportunidad

En Inglaterra se ve a la nanotecnología como una oportunidad para lograr un anticipado y amplio debate sobre las tecnologías emergentes, para evitar la hostilidad y desconfianza generadas por los cultivos genéticamente modificados (GM). El gobierno apoya el llamado de la Sociedad real (2003) y la Academia de ingenieros real para «un debate constructivo y proactivo sobre el futuro de la nanotecnología... en una etapa en la que se pueden reportar decisiones importantes sobre su desarrollo antes de que surjan posiciones profundamente contrarias o afianzadas». Para una completa discusión sobre los riesgos y oportunidades de este debate, **véase el capítulo 3.**

2.7. Direcciones futuras

El surgimiento de la nanotecnología ha coincidido con una mayor sinceridad de la ciencia y de las políticas de innovación. Para el gobierno, el compromiso social se ha convertido en una oportunidad de no cometer los mismos errores. Dependiendo con quién se converse, la nanotecnología puede ser lo mejor por venir, el siguiente asbesto o la siguiente modificación genética. Pero antes de percibir sus efectos, la nanotecnología se ha convertido en una prueba para una nueva clase de gobernar. Es una oportunidad para replantear la relación entre la ciencia y la democracia, para lograr que el compromiso público tenga importancia debe ir más allá del manejo de riesgos. Estos nuevos diálogos con la sociedad no tienen soluciones fáciles; se hacen preguntas importantes pero a la vez difíciles y nos se inicia un nuevo camino de discusión vital sobre las políticas futuras de la ciencia.

El concepto de nueva tecnología presenta muchos retos para aquellos que se preocupan sobre cómo usarlas para reducir la pobreza en el mundo. Las promesas que ofrecen muchas nuevas tecnologías son grandes, sin embargo, su habilidad para dirigir cambios sostenibles en la vida de la gente pobre se ha limitado. Al mismo tiempo, los modelos y suposiciones que han apoyado el desarrollo internacional se fundamentan en el crecimiento económico. Es necesario alejarse de este antiguo paradigma, impulsado por la idea de oferta. Science for Humanity provee un modelo posible para permitir que esto suceda.



7.2. Anexo 2: La nanotecnología y sus aplicaciones en el agua. Una breve evaluación de los riesgos y oportunidades

David Grimshaw

«Reconfiguraron las nanopartículas para incorporar energía solar y memoria. Rediseñaron la estructura de la partícula para incluir un algoritmo genético. Liberaron las partículas para que se reproduzcan y evolucionen, y ver si el enjambre podía sobrevivir por sí sólo. Y tuvieron éxito» (Crichton, 2002)

«Se han expresado algunas preocupaciones sobre la nanotecnología a principios de este año, se ha sugerido que plagas de nanobots que se autorepican pueden convertir el mundo en una masa gris, según el profesor Dowling. Una función importante del proyecto del grupo de trabajo de la Sociedad real será separar la publicidad exagerada y lo hipotético de la realidad» (The Guardian, 12 de junio de 2003)

«Ha surgido un culto futurista que ve en la nanotecnología un camino hacia una utopía tecnológica: prosperidad inigualable, industrias que no contaminan, incluso algo similar a la vida eterna» (Stix, 2001)

Abstract

En el mundo comercial los prospectos de nuevos materiales crean una emoción generalmente seguida de investigaciones y explotación comercial. En el presente artículo se presentan los riesgos y oportunidades que presenta la nanotecnología; luego, una visión general de la dimensión del mercado a la que está potencialmente dirigida, antes de revisar con más detalle las aplicaciones específicas de la nanotecnología para el problema del agua. Las conclusiones intentan realizar una evaluación general del balance del riesgo al medio ambiente y a la salud pública.

3.1. Características de la nanotecnología

Hay una promoción exagerada de la nanotecnología, es por eso que es útil aclarar los límites del término. A diferencia de otras tecnologías, que generalmente han surgido directamente de una disciplina científica, la nanotecnología se define esencialmente por la escala en la que trabaja. La Sociedad real (2003) afirma sobre la nanotecnología:

La nanociencia y nanotecnología comprenden el estudio y manipulación de materiales a una escala ultrapequeña. Un nanómetro es una millonésima parte de un milímetro: comparativamente, un solo cabello humano tiene alrededor de 80 000 nanómetros de ancho. La nanociencia y la nanotecnología engloban una gama de técnicas, no se trata de una disciplina única. Estas disciplinas incluyen la ciencia, medicina, física, ingeniería y química.

Es difícil para nosotros comprender la escala de trabajo de la nanotecnología. Según Hollister (2002) la nanotecnología es:

La habilidad de realizar ciertas cosas, medir, ver, predecir, y hacer, a escala atómica y molecular y explotar las propiedades halladas a esa escala. Tradicionalmente, el dominio de la nanotecnología se define entre 0.1 y 100 nanómetros, siendo un nanómetro una milésima parte de una micra (micrómetro), es decir, un milésima parte de un milímetro.



Existen dos consecuencias de trabajar a nanoescala:

- Facilita el ensamblaje de moléculas, hechas de los 115 elementos químicos conocidos (Emsley, 2001). Con la receta adecuada, es fácil construir cosas nuevas en base a estos elementos químicos, como si fueran Legos
- Las características de los materiales a nanoescala son diferentes. Los materiales fabricados a nanoescala tienen propiedades diferentes de los que se fabrican a escala normal, en la forma precisa en la que los átomos se ordenan con propiedades ópticas y eléctricas inusuales. El carbón a nanoescala, por ejemplo, puede conducir electricidad mejor que el cobre; en otros casos, mayor tamaño puede causar mayor toxicidad

3.2. Riesgos y oportunidades

Cualquier evaluación del mercado de productos derivados de la nanotecnología necesita tomar en cuenta sus riesgos y oportunidades.

¿La nanotecnología lidera temas éticos y sociales?

Según Mnyusiwalla (2003) la investigación sobre sus consecuencias éticas, legales y sociales no tiene el mismo ritmo de avance que la ciencia. Como evidencia de esto tenemos la poca cantidad de referencias en la literatura especializada a aplicaciones sociales y el hecho de que en los EE.UU. hay investigaciones disponibles que no se están utilizando: la iniciativa nacional de la nanotecnología destinó entre US\$16 y 28 millones para desarrollo de aplicaciones sociales pero se utilizó menos de la mitad del monto. Una de las principales razones de la no aplicación de fondos fue la falta de propuestas de buena calidad. En Inglaterra el Consejo de investigaciones sociales y económicas (ESRC, por sus siglas en inglés), publicó un informe que examinó los retos económicos y sociales resultantes de la nanotecnología (Wood *et al.*, 2003). Uno de los peligros relacionados a la falta de investigación sobre sus consecuencias sociales es que el público reacciona ante ellas con temor, duda e incertidumbre.

Sin embargo, existen señales alentadoras en el aumento de actividades en los Estados Unidos e Inglaterra durante los últimos años. El plan estratégico de la iniciativa nacional de la nanotecnología (2007) identifica dos objetivos importantes con cada vez más eco en la comunidad científica: medio ambiente (salud y seguridad) y educación.

Se han realizado diálogos exhaustivos en Inglaterra y Zimbabue como parte del esfuerzo para comprometer a los científicos y usuarios finales (Grimshaw *et al.*, 2008). En noviembre de 2006, la Sociedad real, Insight Investment y la Asociación de industrias para la nanotecnología se reunieron para evaluar el impacto social y económico de las incertidumbres técnicas, sociales y comerciales relacionadas a la nanotecnología. Una de las conclusiones de esta reunión fue establecer un grupo de trabajo para preparar un código de nanotecnología responsable. Actualmente está siendo desarrollado por un grupo mixto de participantes, quienes esperan presentarlo el año 2008.

¿La nanotecnología es un riesgo o una oportunidad?

En nuestra sociedad, donde siempre existen riesgos, las compañías de seguros tendrán un papel importante: identificar y analizar el riesgo de la nanotecnología. El grupo Benfield (aseguradora intermedia y evaluadora de riesgos más grande del mundo) concluyó su evaluación estableciendo que «actualmente la industria se enfoca en la gestión de riesgos y contención, como en la fabricación y transporte de la nanotecnología» (French, 2004). Un estudio hecho por Munich Re (reaseguradora más grande del mundo), reiterando el énfasis en la gestión de riesgos indica: «hasta ahora las pérdidas relacionadas a productos peligrosos tenían un alcance limitado, manejable, pero si se lleva a extremos, los productos nanotecnológicos puede causar daños ecológicos que serían permanente y muy difíciles de controlar» (Schmid, 2002). Según Schmid, el potencial de riesgo elevado de la nanotecnología puede ser causado por:

- Nuevos tipos de pérdidas (contaminación) a causa de nuevas propiedades de los materiales, como fluidos magnéticos
- Incremento en demandas civiles
- Casos de responsabilidad resultantes de nuevas leyes destinadas a proteger el medio ambiente
- Consecuencias sociopolíticas adversas y daños ecológicos irreparables

En términos de evaluación de riesgos, es posible hacer una distinción entre nanopartículas activas y pasivas. Las partículas pasivas, como las capas, pueden presentar tanto riesgo como cualquier proceso de fabricación, de acuerdo a French (2004). Sin embargo, las nanopartículas activas tienen una habilidad de transformar su entorno y esto conlleva a riesgos asociados a su control y contención. La mayoría de los investigadores coinciden en que el área de mayor riesgo se encuentra en las nanopartículas manipuladas. Vyvyan Howard (Nanotox, 2004), una de las investigadoras líderes en la toxicidad de las nanopartículas, informó sobre la posibilidad de que materiales a nanoescala se puedan transferir desde la madre al feto, durante la gestación (Wootliff, 2004).

Estos estudios hacen surgir una duda: ¿debemos reglamentar o no las nanotecnologías? Lin (2007) sugiere que «en lugar de disminuir el ritmo de la industria de la nanotecnología, con lo que nos daríamos por vencido y crearíamos más leyes entre nosotros y la ciencia, se pueden estimular otras áreas como método de prevención”. Por otras áreas, Lin se refiere a la regulación anticipada de escenarios de desarrollo nanotecnológicos, métodos de prueba, y el establecimiento de estándares industriales.

¿Qué podemos rescatar de los esfuerzos por establecer las vinculaciones sociales de la biotecnología?

Es muy probable que la nanotecnología, como lo hicieron los cultivos genéticamente modificados, significan un nuevo distanciamiento entre pobres y ricos. Como en el caso de la biotecnología, el impacto ambiental puede resultar mayor de lo que se esperaba. Un informe de la Sociedad real (Royal Society, 2004) lo plantea de la siguiente manera:

Mucha de la literatura visionaria (...) contiene afirmaciones repetidas sobre los principales impactos a largo plazo de la nanotecnología en la sociedad mundial: por ejemplo, que suministrará energía económica sostenible, soluciones medio ambientales, avances radicales en diagnósticos médicos y en tratamientos, capacidades en TI más poderosas y mejores productos para el consumidor (...). Sin embargo, también es legítimo preguntarse ¿quiénes se beneficiarán? Y más importante ¿quién será dejado atrás? (...) Existen preocupaciones sobre el potencial que podría tener la nanotecnología para ampliar la brecha entre los países pobres y ricos debido a sus diferentes capacidades para desarrollar y explotar nanotecnologías, generando una brecha conocida como nanodivisión.

Los intentos por involucrar a los científicos y poblaciones de los países en vías de desarrollo en diálogos, como los realizados bajo el auspicio del Instituto Meridian y el trabajo de **Practical Action**, en colaboración con Demos y la Universidad de Lancaster, han demostrado que el compromiso temprano permite desarrollar las capacidades locales.

3.3. Implicaciones para inversores

El campo de la nanotecnología es interdisciplinario, por lo tanto, sus aplicaciones son diversas. Aquí revisamos el mercado potencial en términos de los posibles productos resultantes de la investigación.

Tamaño del mercado

Existen muchas predicciones sobre el tamaño de este mercado, sin embargo, es muy difícil de precisarlo debido a las posibilidades inesperadas que pueden surgir en la próxima década. Un gran número de organizaciones han hecho pronósticos: la Fundación nacional de la ciencia (EE.UU.) hizo la mayor predicción, con un mercado equivalente a US\$2.85 miles de billones para el 2015. Actualmente en los Estados Unidos la inversión anual en investigaciones sobre nanotecnología es de US\$4 billones (National Nanotechnology Initiative, 2007).

Perspectivas

Un estudio realizado entre científicos por la revista americana de informática Wired, da algunas indicaciones del futuro:

- Para el año 2004 existirán discos duros con capacidad de un terabyte
- Para el 2009 tendremos las primeras leyes sobre nanotecnología
- Para el 2011 habrá producción a gran escala de máquinas capaces de manipular átomos individuales con gran exactitud
- Para el 2029 la nanomáquinas repararán células vivas modificando sus componentes a un nivel atómico

Los escenarios que predicen que la biotecnología y la nanotecnología crearán rápida y de forma muy económica novedades usadas en todo el mundo, consideran también que las computadoras se volverán aparatos semiautónomos, superinteligentes y con capacidades propias. Pero estos escenarios no son del todo correctos, no si consideramos el progreso del software durante las últimas 5 décadas como un indicador de lo que ocurrirá durante las próximas 5 décadas.

Parece que algunas suposiciones se desarrollan en base a estas perspectivas. El enfoque está dirigido en lo que la tecnología podrá hacer, no en lo que debe hacer. La manipulación de átomos y moléculas a nanoescala podría conllevar un asombroso desarrollo de hardware, pero esto no quiere decir que necesariamente el software avance al mismo paso. Muchos escenarios parecen tener una suposición explícita: la inteligencia artificial dará grandes pasos acompañada de los cambios en el hardware. Entonces, el debate se centra en la habilidad de los humanos para controlar el hardware.

3.4. Aplicaciones en el sector agua

Sin lugar a dudas el agua potable es uno de los aspectos más importantes en todos los países. La nanotecnología tiene el potencial de cumplir con los retos técnicos asociados a la extracción de contaminantes del agua. Se espera que estas tecnologías ofrezcan formas más económicas, efectivas, eficientes y duraderas de limpiar los contaminantes del agua. Ya existen en el mercado una gran gama de mecanismos para el tratamiento de agua que incorporan nanotecnología y existen otros a punto de lanzarse o en proceso de desarrollo. Estas aplicaciones incluyen:

- «En muchas partes del mundo las membranas de nanofiltración (filtros de polímero) ya se aplican para la extracción de sales disueltas en el agua salada, extracción de micro contaminantes, ablandamiento de agua y tratamiento de aguas residuales. Las membranas rechazan substancias de manera selectiva, lo que permite la extracción de contaminantes dañinos y reteniendo los nutrientes del agua que se requieren para el buen funcionamiento del cuerpo. Se espera que la nanotecnología contribuya al avance de la tecnología de membranas que disminuyan el costo de desalinización. Los materiales usados para nanofiltros incluyen zeolita y atapulgite, encontrados de forma natural y manipulados a nanoescala para controlar el tamaño del poro en las membranas de los filtros. Los investigadores también desarrollan nuevas clases de materiales poliméricos nanoporosos más efectivos que los filtros convencionales. Ya están en el mercado nuevos mecanismos de desalinización y filtros que incorporan nanotecnología
- Atapulgite, zeolita, filtros: la arcilla atapulgite es un material que se encuentra de manera natural en muchos lugares del mundo. Un estudio, en busca de membranas de atapulgite que filtren agua residual en una granja, mostró que el uso de arcilla local en el proceso de filtración ofrecía un método económico y efectivo para reducir la cantidad de suero en la leche y compuestos orgánicos. La zeolita contiene sólidos microporosos cristalinos con estructuras bien definidas. Su estructura exterior generalmente contiene silicio, aluminio y oxígeno, y sus poros contienen agua, cationes y otras moléculas. La zeolita se puede usar para separar compuestos orgánicos dañinos del agua y retirar iones metálicos del agua

- Nanocatalizadores y nanopartículas magnéticas: los investigadores esperan que los nanocatalizadores y las nanopartículas magnéticas se usen para potabilizar el agua altamente contaminada. El uso de partículas catalizadoras puede degradar químicamente contaminantes, dejando de lado otras tecnologías existentes que son ineficientes o demasiado costosas. Cuando las nanopartículas magnéticas se cubren compuestos específicos, adquieren afinidad selectiva hacia ciertas sustancias contaminantes y se pueden usar para extraer los contaminantes del agua, incluyendo el arsénico
- Nanosensores para la detección de contaminantes: los investigadores están desarrollando nuevos sensores tecnológicos que combinan tecnologías micro y nano para crear sensores pequeños, portátiles y muy exactos que permitan así detectar parámetros químicos y bioquímicos en el agua. Muchos grupos de investigadores evalúan dispositivos de prueba que incorporan tecnología de nanosensores para detectar contaminantes en el agua. Algunos esperan comercializar estos dispositivos en menos de cinco años. Con frecuencia se publican resultados de estas nuevas investigaciones» (Hille *et al.*, 2005)

Las áreas de mayor riesgo en la nanotecnología están relacionadas a las nanopartículas manipuladas. Por ejemplo, las nanopartículas magnéticas pueden representar, en algunos casos, riesgos a la salud o al medioambiente. Muchos científicos coinciden en que el uso de nanomembranas como filtros no significará un riesgo a los usuarios o al medioambiente porque en ningún momento las nanopartículas se introducen en el agua.

Actualmente existen fabricantes de tecnologías de filtración que usan nanomembranas. Hille (2005) informó que algunas se han probado recientemente en Sudáfrica. La mayoría de estas aplicaciones se encuentran a nivel de infraestructura de comunidades; sin embargo, si los costos se reducen, es posible introducir la tecnología a nivel doméstico.

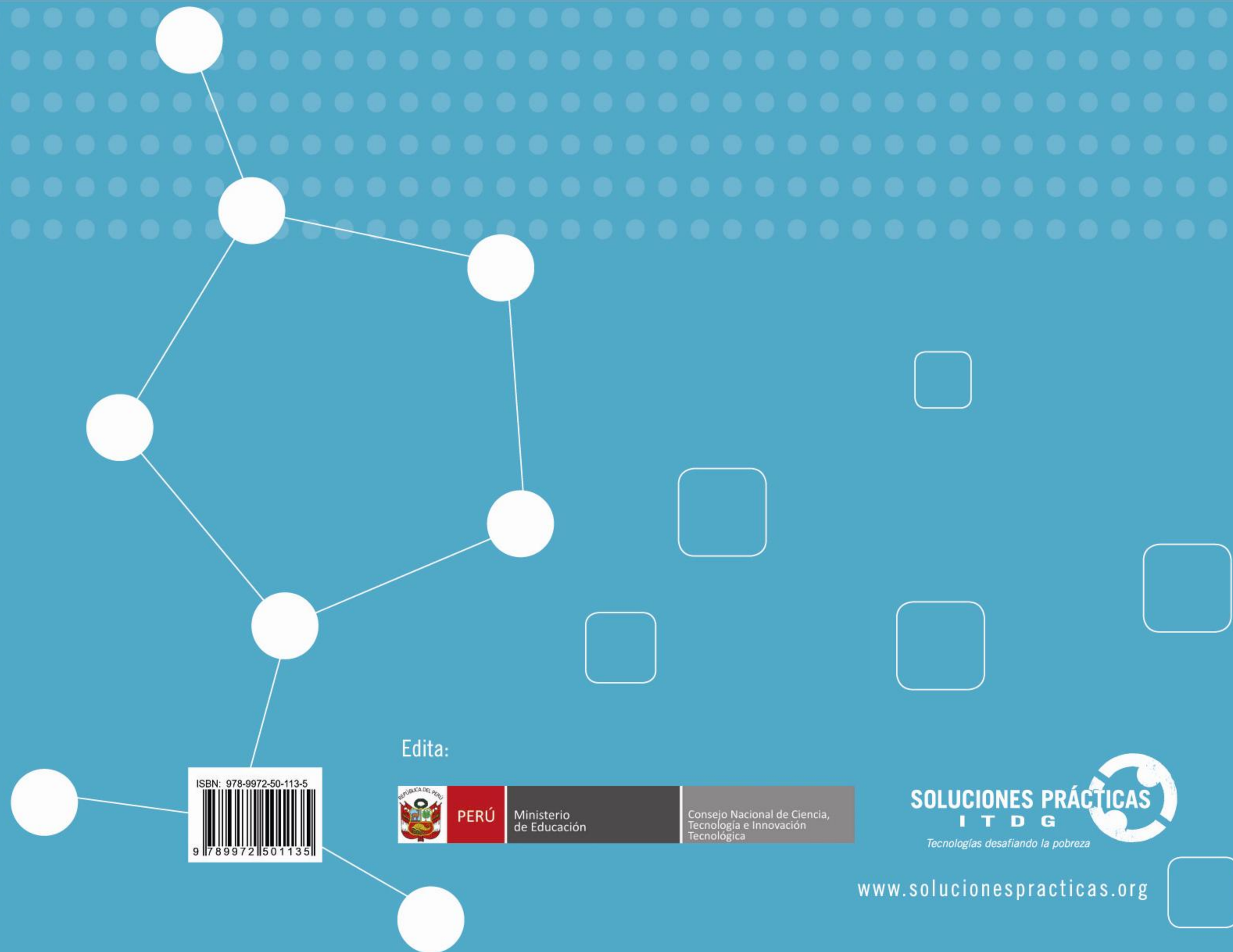
3.5. Conclusión

Con la continua presión del crecimiento poblacional y el cambio climático sobre nuestros recursos hídricos, es cada vez más importante encontrar formas de reusar y limpiar este importante (y limitado) recurso. Hay muchas aplicaciones nanotecnológicas que se pueden usar para solucionar el problema del agua. Además, existe la idea de desalinizar el agua de mar, que se hace más atractiva con las promesas de la nanotecnología de reducir costos y reducir el consumo de energía necesario.

Si el costo de los productos básicos de la nanotecnología es tan bajo como se espera, su aplicación global puede significar oportunidades de inversión muy atractivas económicamente y socialmente.

Otras publicaciones del CONCYTEC:

- ▼ *Topoclimatología de alta montaña: Una experiencia en la vertiente oriental andina* (John Earls)
- ▼ *Macroecología de los andes peruanos. Situación actual y dinámica de cambio en los últimos 20 000 años* (José Salaverry)
- ▼ *Ecosistemas amazónicos, fuente importante para secuestrar carbono y mitigar el calentamiento global* (Beatriz Sales)
- ▼ *Sacha Inchi Peanut Inca: moléculas biofuncionales y cosmeceúticas* (Mario Carhuapoma)
- ▼ *Mejoramiento genético y biotecnológico de plantas* (Félix Camarena, Raúl Blas y Julián Chura)
- ▼ *Mejoramiento genético de especies del género phaseolus mediante metodologías convencionales e innovadoras con el fin de incrementar la producción y la oferta exportable del frijol común (Phaseolus vulgaris L.)* (Félix Camarena)
- ▼ *Estructura y propiedades de los materiales* (Nilthon Zavaleta)
- ▼ *Perú: una propuesta de organización territorial. Conformación y articulación de regiones y subregiones* (Miguel Castro)
- ▼ *Monitor en educación ambiental* (Juan Gamarra)
- ▼ *Los andes y las poblaciones altoandinas en la agenda de la regionalización y descentralización* (Hilda Araujo)



Edita:



www.solucionespracticas.org