

## **PRESENTE Y FUTURO DE LOS NANOMATERIALES EN GEOTECNIA Y MEDIO AMBIENTE, EN SUELOS FINOS**

**Ing. Esp. Héctor Antonio VELAZQUEZ**, Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rafaela - Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional San Francisco,  
hectoravelaz@hotmail.com – hectorantoniovelaz@gmail.com

**Resumen**— Teniendo en cuenta los conceptos de Biotecnología, Nanotecnología, Bioingeniería en distintos tipos de materiales, realizaremos una revisión de las características básicas de los filosilicatos, que abrieron las puertas a un nuevo conocimiento, no visible por el ojo humano de la materia viva o inerte.

A través de la Geotecnia Ambiental, estudiaremos especialmente las propiedades de suelos limos-arcillosos, visualizando las características mineralógicas y texturales de ellos, su estructura interna y composición química, especialmente las arcillas, que confieren reactividades como:

- Morfología laminar (filosilicatos), y casos donde intervienen fibras.
- El pequeño tamaño de la partícula (inferior a las 2 micras)
- Sustituciones isomórficas en láminas que permiten apariciones de cargas en ellas.

Las características mencionadas, específicamente las dos primeras, producen elevado valor de la “superficie específica”, y la presencia de gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados, que interaccionan con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, destacándose el más importante EL AGUA.

Todo ello genera una inmediata consecuencia, el comportamiento plástico en mezclas “limos arcillosos- agua”, con elevada proporción sólido/líquido y el hinchamiento “swelling”, creando importantes propiedades reológicas en suspensiones acuosas.

**Palabras clave** - *Estructura de los filosilicatos – Características mineralógicas y texturales - Reactividades químicas – Sustituciones isomórficas – Compuestos polares – Proporción sólido-líquido – Hinchamiento o “swelling” – Propiedades reológicas..*

## **1. Introducción**

“No debe haber barreras para la libertad de preguntar, no hay sitio para el dogma en la ciencia. El científico es libre y debe ser libre para hacer cualquier pregunta, para dudar de cualquier aseveración, para buscar cualquier evidencia, para corregir cualquier error” (Oppenheimer).

Por ello hoy podemos confirmar, el paso del “barro o arcilla”, a la nanotecnología. La más antigua y noble de las materias primas, que dio origen a los materiales más diversos conocidos, formada millones de años antes de la existencia del hombre sobre la Tierra, fue el barro o arcilla. Es más, las religiones monoteístas coinciden que Dios creó el hombre tomando barro o arcilla de la tierra, soplándole su aliento y dotándolo de vida, según lo relata en el Génesis II,7.

El comienzo, hace unos diez mil años de la cultura de la cerámica, supuso el dominio de la arcilla, roca compleja formada, como veremos, por silicatos aluminicos o férricos hidratados, que poseen una cierta naturaleza plástica, que endurecen al secarse o ser sometidas al calentamiento.

## **2. Nanotecnología**

La palabra “nanotecnología” se usa extensivamente para definir las ciencias y técnicas que se aplican al nivel de nanoescala, esto es, medidas extremadamente pequeñas, “nanos”, que permiten trabajar y manipular las estructuras moleculares y sus átomos. En síntesis, conduciría a la posibilidad de fabricar materiales y máquinas a partir del reordenamiento de átomos y moléculas.

Un nanómetro equivale en escala a la billonésima parte de un metro:

$$1nm = 1 \times 10^{-9}m$$

Podemos definir otras equivalencias como:

- *milímetro*  $\rightarrow 1mm = 1\,000\,000\,nm$
- *micrómetro*  $\rightarrow 1\mu m = 1\,000\,nm$
- *Angstrom*  $\rightarrow 1A = \frac{1}{10}\,nm$

$$Picómetro \rightarrow 1pm = \frac{1}{1000}\,nm$$

Esta disciplina comienza a través de las propuestas de Richard Feynman (“Breve cronología – historia de la nanotecnología”), Feynman, es considerado el padre de la “nanociencia”, premio Nobel de Física, que propuso en 1959, fabricar productos en base a un reordenamiento de átomos y moléculas, así en unos de sus artículos analiza como las computadoras trabajando con átomos individuales podrían consumir muy poca energía y conseguir velocidades asombrosas.

El objetivo de nuestra Investigación, es presentar una visión global de las actividades en Nanotecnología, especialmente en Nanomateriales, aplicando las Ciencias de la Tierra y la Geotecnia, para mejorar los efectos de los Cambios Climáticos, sobre el Medio Ambiente.

Siendo el suelo el segundo depósito o “sumidero” de carbono, después de los océanos, en nuestra planicie pampeana Argentina, (600000 Km<sup>2</sup>), es muy importante por su

tipificación de suelos finos, transformados, desde su formación (posterior al período Cuaternario), por procesos físicos-químicos y mecánicos, en suelos utilizados para agricultura y ganadería, donde los pastizales almacenan mucho carbono por hectárea, y el clima caluroso y húmedo colabora en gran medida a este almacenamiento.

A menudo pensamos que los cambios climáticos, ocurren en la atmósfera, así cuando las plantas realizan la fotosíntesis extraen carbono de la atmósfera, pero este carbono atmosférico también afecta al suelo, porque él no se utiliza para el crecimiento de las plantas, y en superficie se distribuye a través de las raíces y se deposita en la tierra, produciéndose lo que denominamos “nitrificación”, del suelo.

Toda la formación Loessica - Loessoide, compuesta por sedimentos, sobre un basamento cristalino de partículas limosas, mezcladas con arcillas, que fueron depositadas eólicamente, aluvialmente o por procesos químicos in situ, nos permitió investigar procesos nanotecnológicos de materiales inorgánicos, y plantearnos objetivos futuros en esta rama para mejorar condiciones de contaminación, mejora del ambiente y desarrollo de nuevas tecnologías y materiales.

Así pudimos observar y trabajar con Arcillas, con componentes principales en Óxidos de Fe, Al y Mn, junto a limos plásticos, y el disolvente universal el Agua, observando que el Si, y Al, son los elementos predominantes, y junto a los óxidos tienen un 74,2% de participación en estos suelos, pudiendo realizar la Laterización, Caolinización o Podsolización de los mismos.

Pudimos identificar CAOLINITAS, ESMECTITAS, ILLITAS, y VERMICULITAS, todas ellas como materiales a ser estudiados a escala molecular, diferenciando en la formación con alteraciones GEOQUÍMICAS, de las BIOQUÍMICAS, los tiempos de transformación y edades geológicas, con resultados eficientes hacia el medio ambiente.

Los ascensos freáticos (producto de inundaciones importantes, y copiosas lluvias), y descensos freáticos (producto de sequías), nos permitió generar un modelo nanométrico, en cuanto a comparaciones, usando o no Nanomateriales, un ejemplo fue utilizar nanoarcillas para evitar procesos de licuación de suelos en zonas de infraestructuras enterradas y superficiales, como conductos de transportes de distintos líquidos o gases, y pavimentos en vías de comunicación, también verificamos este tipo de nanoarcillas en represas de materiales sueltos, ante situaciones de saturaciones excesivas.

Autores como El Howwayek, A. (2001) y Mooney, R. W Keenan, A.G y Wood L.A (1952), en referencias [14] y [15], describieron el módulo G', según la Figura 2, obteniendo, en una primera etapa de experimentación, el uso de Bentonita, de peso específico 2,65, con una superficie específica de 440m<sup>2</sup>/g [14] y [15], posteriormente trabajaron con Laponita RD (arcilla de esmectita sintética), de 1 nm de espesor y 25 nm de diámetro aproximadamente. La estructura 2:1 de la Laponita consiste en una lámina dioctahédrica intercalada entre dos capas tetrahédricas de silicio. El reemplazo parcial de iones de magnesio por iones de litio en la capa octaédrica resulta una partícula con caras que presentan carga negativa, y un borde con cargas positivas, el peso específico de la Laponita es de 2,57, y la superficie específica de la Laponita 470 m<sup>2</sup>/g, muy similar a los de la Bentonita (440m<sup>2</sup>/g). Las suspensiones de Laponita tienen propiedades reológicas, para concentraciones de hasta aproximadamente el 3% en peso de agua, se comportan como fluidos newtonianos, después de aproximadamente 40 minutos, la solución de Laponita empezó a presentar un comportamiento similar al gel de tipo sólido, y resistente a esfuerzos de corte y con propiedades tixotrópicas.

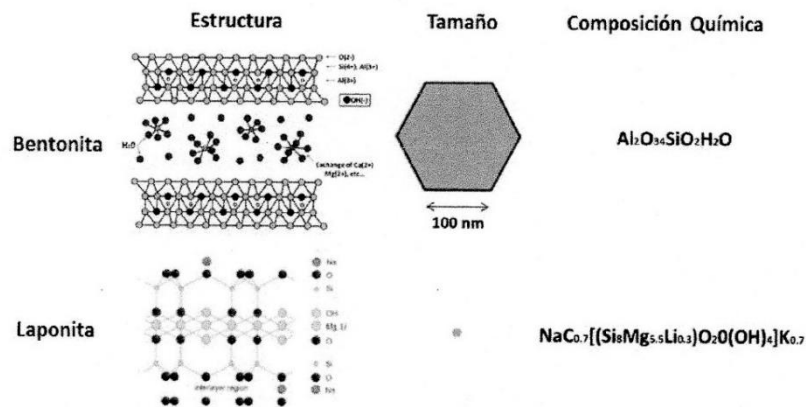


Figura 1. Estructuras de Laponita, y Bentonita. [14] [15]

La transición de solución a gel de la Laponita se refleja en un aumento del módulo de corte ( $G'$ ), para el 3% en peso de agua, este parámetro ( $G'$ ) mide la componente elástica de la respuesta del material, cuando añadimos entre un 4% al 5% de Laponita, se observa en la Figura a continuación, que aumenta el valor de  $G'$  sin embargo con muestras del 4% o más de Laponita, el comportamiento inicial de la suspensión no es newtoniano. Vemos en la Figura los datos de  $G'$  con el tiempo para dos suspensiones de Bentonita, una con 10% y otra con el mismo 10% pero con un 0,5% de pirofosfato de sodio (SPP), que retrasa la formación del gel de Bentonita, permitiendo el ingreso de Bentonita en un medio más poroso. Se observa que una concentración del 10% en peso de agua se traduce en aproximadamente 3% de peso de suelo seco, también la Figura 2 muestra que, después del tiempo de gelificación, las dos suspensiones de Laponita son reologicamente equivalentes (en términos de  $G'$ ) a la suspensión con 10% de Bentonita, dentro de los poros del suelo, o sea ambos materiales tienen prevención a la licuación de estos suelos.

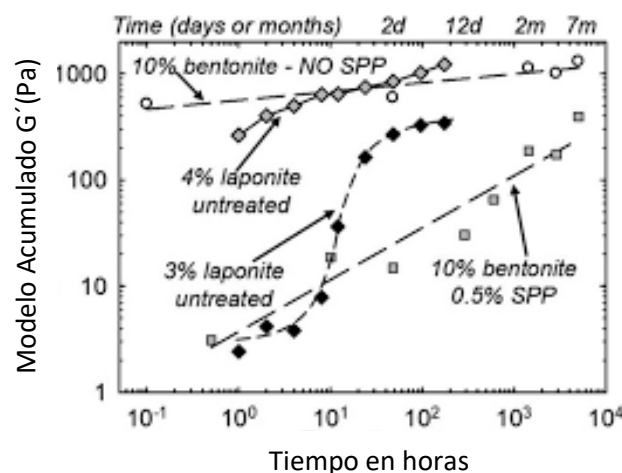


Figura 2. Figura para  $G'$  de Laponita y Bentonita. SSP: pirofosfato de sodio (retrasa la formación del gel de bentonita. [14] [15]

Como sabemos la Bentonita es un producto natural, y seguro, pero su aplicación es algo errática. La infiltración de una suspensión de Bentonita en el espacio intersticial de suelos

finos requiere tratamiento químico con pyro-fosfato de sodio o sales de Silicato de Sodio (Dióxido de Silicio  $\text{SiO}_2$ , u Oxido de Sodio  $\text{N}_2\text{O}$ ) para modificar su reología de corto plazo, sumado a las impurezas que a veces posee la Bentonita, dificulta alcanzar resultados consistentes en laboratorio.

Todas las dificultades pueden superarse al utilizar Laponita, una nano-partícula sintética con un diámetro diez veces más pequeño que la Bentonita y con un proceso de gelificación retardada natural. Lo anterior permite utilizar Laponita para tratar estos suelos finos sin necesidad de modificación química, además la Laponita tiene un índice de plasticidad de 1200, casi el doble de la Bentonita, lo que requeriría menores porcentajes en relación a la bentonita para lograr la misma mejora en la resistencia a la licuefacción de estos suelos.

## **2.1 Preparación de las muestras utilizadas en los Ensayos de Laboratorio**

Siguiendo el procedimiento propuesto por El Howwayek A. (2001) y Mooney, R.W Keenan, A.G y Wood L.A. (1952) [14] y [15], se prepararon en Laboratorio muestras de suelo limo arcilloso de la zona de tipo illítico-caolinitico, en estado suelto con un  $e=1,10$  y en estado denso con  $e=0,55$ , de peso específico  $1,45 \text{ gr/cm}^3$ , mezclando en seco polvo de Laponita o de Bentonita, en porcentajes del 3%, 4% y 10% (por peso seco del limo arcilloso utilizado), en un tubo de plástico. Luego se vaporizaron con agua las muestras, durante un período de 24 horas, se secaron las probetas y se preparó para un ensayo Triaxial Rápido No Drenado, con probetas similares en otro equipo de Corte Directo (rápido no drenado) se ensayaron las probetas similares, para obtener el Módulo  $G'$ , asimilado al de la Figura 2.

Los Ensayos identificaron curvas similares a las descritas en Figura 2 (existen puntos que deben ser analizados, por no estar perfectamente claros los valores obtenidos), ya que los Ensayos realizados no obedecen a oscilaciones forzadas y pequeñas deformaciones, como los autores de la Figura 2 proponen, pero se obtienen valores en aumento del valor  $G'$  (componente elástica del módulo), según lo manifiesta la Figura 2.

Las probetas de Laponita al cabo de 1 hora de ser vaporizadas con agua, mostraron una “gelificación”, superior a las presentadas por las probetas de Bentonita.

También se realizaron probetas idénticas de Bentonita, con el agregado de Sales de Silicatos de Sodio (Dióxido de Silicio  $\text{SiO}_2$  u Oxido de Sodio  $\text{N}_2\text{O}$ ), en un porcentaje del 8%, que se utiliza para retardar la formación del “gel” en lodos de perforación (base agua), para excavaciones bajo agua, o pilotes preexcavados en nuestra zona limo-loessica de suelos finos, con presencia de agua, y mejorar la densidad del fuído agua-bentonita, observándose situación similar (algo mayor) a lo producido por el Pirofosfato de Sodio (SPP) al 0,5% utilizado por los autores [14] y [15], según la Figura 2, el aumento se observa en el módulo de corte.

La nanotecnología nos permite ser capaces de diseñar y fabricar nuevos materiales, o establecer nuevos métodos de investigación que aborden modelos económicos más sostenibles, en la preocupación generalizada de situaciones cambiantes, a las cuales se encuentran sometidos los suelos y materiales en general, y especialmente nuestras zonas de influencia donde los cambios en las condiciones se han desarrollado precipitadamente.

Quizás estemos lejos de grandes desarrollos, de los cuales todos esperamos. La revolución tecnológica se basa esencialmente en un cambio de paradigma en cuanto a la fabricación

y elaboración de técnicas y bienes. Las dos aproximaciones a la tecnificación en Nanotecnología, podemos expresarla:

- TOP - DOWN (de arriba abajo)
- BOTTON – UP (de abajo hacia arriba)

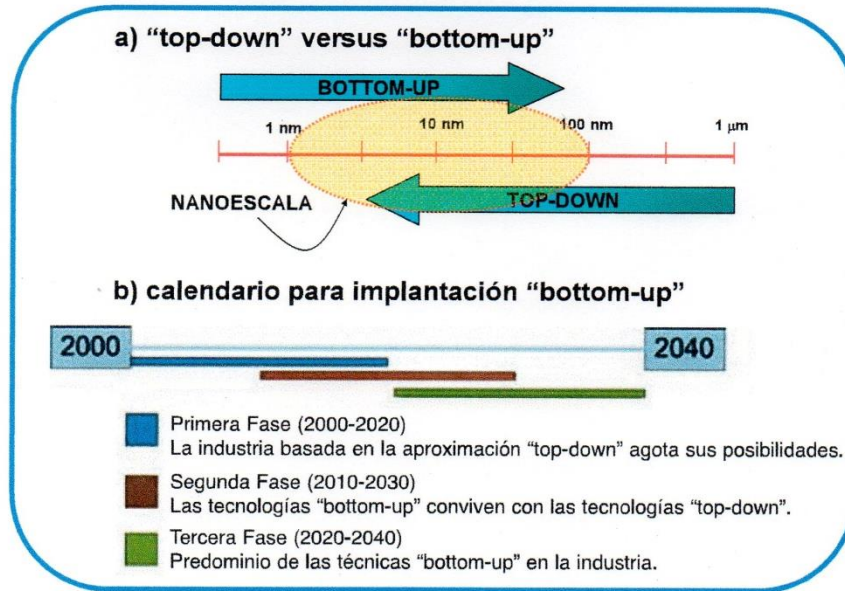


Figura 3. a) Esquema ilustrando el concepto de nanoescala, y el rango de trabajo de los métodos "top-down" y "bottom-up". b) Etapas de implantación de las metodologías "bottom-up" en los procesos de fabricación. [7]

El "top-down", busca lo pequeño a partir de lo grande, tácitamente empleado en industrias, la "botton-up", método utilizado en la investigación, verdaderamente revolucionario en la Geotecnia, Ciencias de la Tierra, busca crear complejidad a partir de elementos funcionales atómicos y moleculares, acercándose a un modo de proceder similar al que la vida ha ido perfeccionando en la Tierra durante los últimos tres mil setecientos millones de años.

Las técnicas predominantes de estos momentos son los "top-down" que sobrevivirán un largo tiempo, pero en nuestro estudio del planeta tierra, especialmente en la Geotecnia, Ciencias de la Tierra y mejoramiento del Medio Ambiente, se dirigirá hacia las técnicas "botton-up", que requerirá más esfuerzo en investigación básica y quizás dos o tres décadas más para que existan nuevos procedimientos de investigación desarrollados, como nuevos productos más amigables en metodología "botton-up", en el mercado.

Los sectores que se verán más afectados por la irrupción de las Nanotecnologías, serán la industria en general, la medicina, seguridad y defensa, producción y almacenamiento de energía, gestión medioambiental, transporte, comunicaciones, electrónica, educación y ocio.

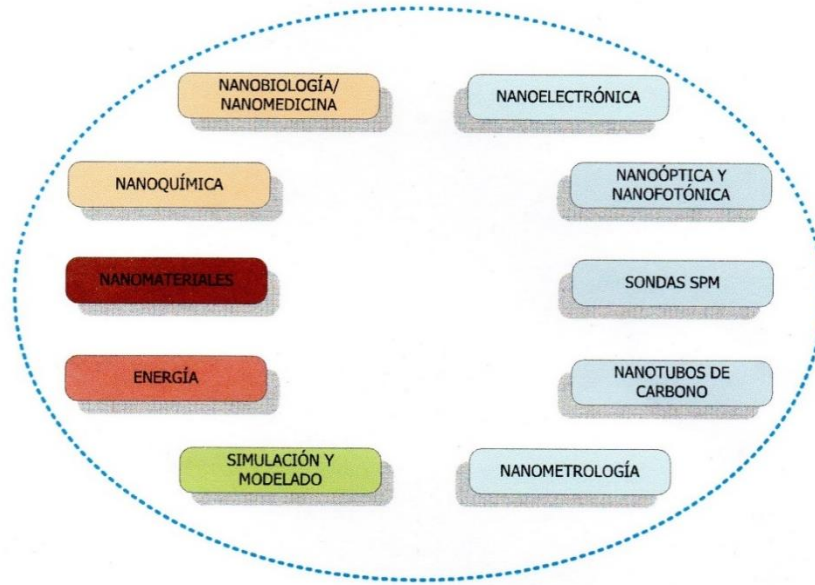


Figura 4. Áreas científico-técnicas de investigación en Nanotecnología. [7]

Aparecerán tópicos transversales que afectan a todo el conjunto de áreas y que deben ser tenidos en cuenta por su importancia. Esto que planteamos es arbitrario y podemos tener diversas formas de estudiar la Nanotecnología, en nuestra Investigación hemos planteado el trabajo hacia nuevas tecnologías, ensayos, modelos e interpretaciones a la luz de la Geotecnia Ambiental, y Ciencias de la Tierra, es decir fundamentalmente hacer hincapié en los NANOMATERIALES, definición, uso y aplicación en cada caso específico.

Dentro de los Nanomateriales Inorgánicos, hemos identificados tres líneas de trabajo:

- Materiales Nanocompuestos y Procedimientos para su obtención
- Uso de las Arcillas Especiales para depuración de Aguas Residuales
- Nanomateriales para prevención de Licuación en Suelos

### **3. Materiales nanocompuestos, procedimientos para su obtención - uso de las arcillas especiales para depuración de aguas residuales**

Engloba todos aquellos materiales desarrollados con al menos una dimensión en la escala nanométrica. Cuando esta longitud es, además del orden o menor que alguna longitud física crítica, tal como la longitud de Fermi del electrón, la longitud de un monodominio magnético, etc; aparecen propiedades nuevas que permiten el desarrollo de materiales, métodos y dispositivos con funcionalidades y características completamente nuevas. La composición del material puede ser cualquiera (estudiamos los materiales que componen la litósfera), por ejemplo, silicatos (muy abundantes en nuestros suelos, y en la gran mayoría de los suelos del mundo), carburos, nitruros, óxidos, boruros, seleniuros, telurios, sulfuros, haluros, aleaciones metálicas, intermetálicas, metales, polímeros orgánicos e inorgánicos, y materiales compuestos.

Es un área de carácter horizontal con influencia en prácticamente todos los sectores socio-económicos, desde sanidad y salud hasta energía pasando por la parte textil, tecnologías de la comunicación e información, seguridad, transporte etc., y de enorme potencial económico.

La National Science Foundation de EEUU, estima a partir del 2015, un movimiento en nanotecnología de un billón (10<sup>12</sup>) de dólares en el mundo, y el segmento de Nanomateriales el 31% de ese total.

Los sectores más relevantes en Nanomateriales, incluyen Materiales Nanoestructurados, Nanopartículas, Nanopulvos, Materiales Nanoporosos, Nanofibras, Fullerenos, Nanotubos de Carbono, Nanohilos, Dendrímetros, Electrónica Molecular, Puntos Quánticos y Láminas Delgadas.

El área está relacionada estrechamente, con la Nanoquímica, al proponerse preparaciones de materiales por rutas sintéticas, “botton-up”, y permitir un control de tamaños y propiedades muy difícil, sino inalcanzable, de conseguir con técnicas más físicas de reducción de tamaño, “top-down”.

Los Nanomateriales, no solo en su tamaño radica la importancia, sino a las nuevas propiedades de mejora en cuanto a los materiales existentes, con una potencialidad de ser materiales disruptivos, y dar lugar a tecnologías que sustituyan las existentes con costos muy inferiores, (en nuestro trabajo con Bentonita-Laponita, lo hemos demostrado).

#### **4. Uso de arcillas especiales para depuración de aguas residuales (Con posibles estrategias de modificación para obtención de Nanomateriales)**

##### **4.1 Arcillas del grupo del caolín**

La caolinita es el mineral más común del grupo del caolín (integrado además por halloysita, dickita y nacrita). Son aluminosilicatos hidratados con estructura 1:1, es decir, formados por una capa de tetraedros de silicio combinada con otra capa de octaedros de alúmina a graves de grupos hidroxilo compartidos entre las dos laminas, cuya fórmula estructural es  $Si_2Al_2O_5(OH)_4$ . La caolinita cristaliza en el sistema triclinico. Pertenece al grupo di octaédrico (TO) y su formación está condicionada por un ambiente ácido. Los otros dos polimorfos, dickita y nacrita, se forman a temperaturas superiores. La halloysita puede tener hasta dos moléculas de agua en la intercapa, característica que permite diferenciarla fácilmente del resto de sus polimorfos. Pueden ser identificadas claramente por difracción de rayos X. La morfología del grupo es pseudohexagonal salvo la halloysita que es tubular o esferoidal. Las distintas especies se pueden diferenciar por análisis térmicos. Presentan bandas de absorción características en  $3.698\text{ cm}^{-1}$ ,  $3.658\text{ cm}^{-1}$ , y  $3.620\text{ cm}^{-1}$ . Los elementos de traza presentes en la estructura cristalina y los isótopos de O y D permiten discriminar el origen (hipogénico o supergénico). Los caolines formados a partir de fluidos hidrotermales están enriquecidos en Ba y Sr y empobrecidos en Fe y Ti respecto a los residuales.

Los diagramas de tierras raras normalizados también son una herramienta útil para diferenciarlos. Los caolines hipogénicos presentan un enriquecimiento de las tierras raras livianas respecto de las pesadas y una anomalía positiva de cesio. En la Patagonia Argentina (Provincias de Río Negro, Chubut y Santa Cruz) existen numerosos yacimientos de caolín, algunos de gran extensión areal como los del Valle del Río Chubut.

De origen residual, (Cravero F. y Dominguez E. Applied Clay Science, 2001, 18:157-172) y otros, de menor extensión, relacionados con procesos hidrotermales, a partir de la alteración de rocas volcánicas, especialmente tobas de composición riolítica, (Maiza P. Marfil S., Cardellach E., y Zunino, J., Revista de la Asociación Geológica Argentina,



2009, 64(3): 426-432; Marfil S., Maiza P., Cardellach E., y Corbella M., Clay Minerals, 2005, 40:283-293; Grecco L., Marfil S., y Maiza P. Clay minerals, 2012, 47: 131-146). En la mayoría de los depósitos el mineral predominante es caolinita aunque en algunos de ellos se identificó además dickita y halloysita. En general presentan impurezas de cuarzo y otros minerales, en muchas ocasiones tienen coloración pardo rojiza debido a la presencia de óxidos e hidróxidos de hierro. Para su utilización en algunas de sus aplicaciones, deben ser refinados y procesados para aumentar su blancura y pureza. - Departamento de geología. Universidad nacional del Sur – Bahía Blanca – CGAMA-CIC de la Provincia de Buenos Aires.

#### **4.2 Arcillas esmectíticas, aplicaciones Ambientales y Tecnológicas (Con posibles estrategias de modificación para obtención de Nanomateriales)**

Este tipo de minerales arcillosos son ampliamente utilizados, como adsorbentes debido a sus propiedades superficiales, su disponibilidad y bajo costo. En particular, reciben especial interés las montmorillonitas, dado que son filosilicatos con elevada capacidad de intercalación de especies inorgánicas y orgánicas entre láminas de su estructura. Debido al carácter hidrofílico de este mineral, se recurre a diferentes estrategias de modificación o funcionalización de su superficie para aumentar sus posibilidades de aplicación en la retención de contaminantes. Se evaluarán y compararán las capacidades de retención de contaminantes orgánicos e inorgánicos de montmorillonitas modificadas por reacciones de intercambio catiónico y funcionalizadas por reacción con diferentes agentes salinizantes. Se verificarán los resultados correspondientes a la caracterización por espectroscopia FTIR, difracción de rayos X, termo gravimetría, microscopia electrónica, movilidad electroforética y determinación de área específica por adsorción de N<sub>2</sub> de los materiales propuestos como adsorbentes.

En los últimos años, se han desarrollado distintos tipos de nano adsorbentes magnéticos mediante la funcionalización o recubrimiento de nano partículas de óxidos de hierro con distintas sustancias orgánicas. Estos materiales permiten la separación y remoción de contaminantes de forma sencilla, mediante la aplicación de campos magnéticos.

Se está estudiando la caracterización y propiedades adsorbentes de tres materiales híbridos utilizando nano partículas de Magnetita, Sustancias Orgánicas extraídas de residuos Sólidos urbanos, de composición y estructuras similares a las sustancias húmicas y Bentonitas como materiales soporte de nano partículas magnéticas (Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Comahue y ANPCyT).

M.E Parolo – Centro de Investigaciones en Toxicología Ambiental y Agrobiotecnología del Comahue (CITAAC), CONICET – Universidad Nacional del Comahue –Neuquen, Argentina

#### **4.3 Arcillas Calcinadas como Material Cementicio Suplementario (transferencia de Nanomateriales al sector industrial)**

La activación térmica de arcillas para su uso como material cementicio suplementario aparece como una de las soluciones más importantes para el desarrollo sustentable de los materiales de la construcción. El problema de emisiones de CO<sub>2</sub> asociada a la producción de cemento portland es ampliamente conocida, y las estrategias de mitigación son el desarrollo de nuevos ligante no cálcicos, la captura del CO<sub>2</sub> y el empleo de materiales cementicio suplementario, como reemplazo del clinker en el cemento, como es el caso de arcillas calcinadas.

Los estudios de investigación sobre distintos tipos de arcillas (caolinitas, bentonitas e illitas) y su evaluación como material suplementario del cemento para obtener un comportamiento eco-eficiente (prestaciones, energía, emisiones) han mostrado su potencial en el Laboratorio. La disponibilidad de arcillas para la fabricación de cemento está restringida por la potencia de los yacimientos, localización en relación con las fábricas, distancias a los centros de consumo y competencia con otras aplicaciones.

En esta experiencia de vinculación, los resultados, los resultados obtenidos en Laboratorio, permitieron calcinar Illitas y Caolinitas a 1074 °C, y se está en el proceso de su sustitución en Planta de Hormigón (propiedad de una Empresa local), para visualizar los resultados en las resistencias características de los hormigones obtenidos, asimismo se está evaluando el potencial puzolánico, la robustez industrial, las variables de los procesos y actualmente se encuentra en desarrollo una prueba a escala industrial. Otros aspectos de la transferencia, tiene que ver con los cambios normativos, observándose que el Instituto de Cemento Portland Argentino (ICPA), que se ha adherido al pacto Global de Naciones Unidas (ONU), (a partir del 5/05/2017), promueve un nuevo cemento, el LC<sup>3</sup> (Limestone Calcined Clay Cement), con la incorporación de arcillas calcinadas, para la fabricación de cemento, y permitir la reducción del impacto ambiental del hormigón.

El trabajo tipo “top-down” (de arriba hacia abajo), sobre minerales hacia la tecnología “nano”, ha permitido realizar innovaciones tecnológicas, no solo hacia los hormigones incorporando arcillas calcinadas y molidas, en mezclas, sino también trabajar con minerales como la Bentonita y Laponita, a escalas de investigación, sobre bases y subbases de pavimentos urbanos, para observar la disminución en la “licuefacción” de los suelos, por efectos de altos niveles freáticos de la zona de suelos limo-arcillosos pampeanos. En etapa de prueba se realizan mezclas sobre suelos de subrasantes (en estado natural, semilíquido a líquido), ubicados como soporte de plateas y pisos de tipo industrial, que manifiestan permanentes cargas cíclicas, por el paso de equipos de trabajo (zamping), dentro de depósitos, fábricas e industrias ubicadas en nuestra zona de influencia.

Se trabaja en laboratorio de la U.T.N. Regional Rafaela, sobre un PID (Código ECUTNRA0004721), Homologado por UTN- Rectorado – bajo el Nro. 380/2017, denominado “Evaluación de la vulnerabilidad a la Licuación de Limos, Arcillas, Arenas, en Suelos Loessicos Pampeanos”, utilizándose alternativas con “nanomateriales”, para estas evaluaciones, sobre dichos suelos.

La experiencia indica que la investigación básica con técnicas instrumentales permite el desarrollo de nuevas aplicaciones tecnológicas, que luego deben ser colocadas en el contexto productivo (disponibilidad, costo, oportunidad, tecnología disponible para la producción) para que el desarrollo cuente con posibilidades de ser adoptado como prueba piloto en la industria. - Facultad de Ingeniería – CIFICEN (UNCPBA-CONICET), Olavarría, Argentina

## **5. Caracterización de Zeolitas Naturales de Mendoza**

Las Zeolitas son aluminosilicatos hidratados cristalinos que poseen en sus moléculas iones alcalinos y alcalinos – térreos, y se caracterizan principalmente por su gran capacidad de hidratación e intercambio catiónico. En algunas especies, cuando se deshidratan, el espacio vacío en la estructura llega al 50%. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) depende del grado de sustitución de Al<sub>3</sub>, por Si<sub>4+</sub>, por lo que cuanto mayor es la sustitución, mayor es el número de cationes necesario para mantener la neutralidad

eléctrica. Teniendo en cuenta sus propiedades, estos minerales se utilizan en diversos campos de aplicación como la agricultura, medioambiente, veterinaria y construcción.

Nuestro objetivo es trabajar sobre análisis mineralógicos y geoquímicos, zeolitas de la Provincia de Mendoza, para determinar su potencialidad como carga en nanocompuestos de base polimérica con capacidad absorbente de olores y humedad. Este tipo de Zeolita es una de las más utilizadas en el mundo por la potencialidad de su empleo en diferentes aplicaciones. L. Lescano(a)., L. Castillo (b)., F Locati (c)., L. Madsen (a)., S Marfil (a)., Cravero (d)., S. Barbosa (b)., P. Maiza – (a) Departamento de Geología, Universidad Nacional del Sur-CIC – Bahía Blanca CGAMA-CIC – (b) PLAPIQUI. Departamento de Ing. Química, Universidad Nacional del Sur – CONICET – Bahía Blanca. (c) CICTERRA-CONICET-UNC – Córdoba – (d) CETMIC – CIC- CONICET.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

En los últimos años, ha habido una aceleración en el ritmo de actividades en Nanociencia y Nanotecnología, con un bajo ritmo de financiación, en nuestro país. Sin embargo se perciben problemas sectoriales que proponen soluciones desde el punto de la Investigación básica (la nanociencia), con problemas comunes en otros campos; necesidad de mayor financiación, mejora de infraestructuras, previsión de falta de jóvenes investigadores a mediano plazo en ciertas áreas. En la nanotecnología (con una componente más aplicada) a los problemas detectados, habría que añadir la falta de un tejido industrial que permita hacer efectiva una eficiente transferencia de tecnología, existiendo una capacidad bastante desigual para adaptarse a las nanotecnologías, según el sector del que se trate, existe también una gran dependencia del exterior en este tipo de Investigación según puede observarse en la siguiente Figura.

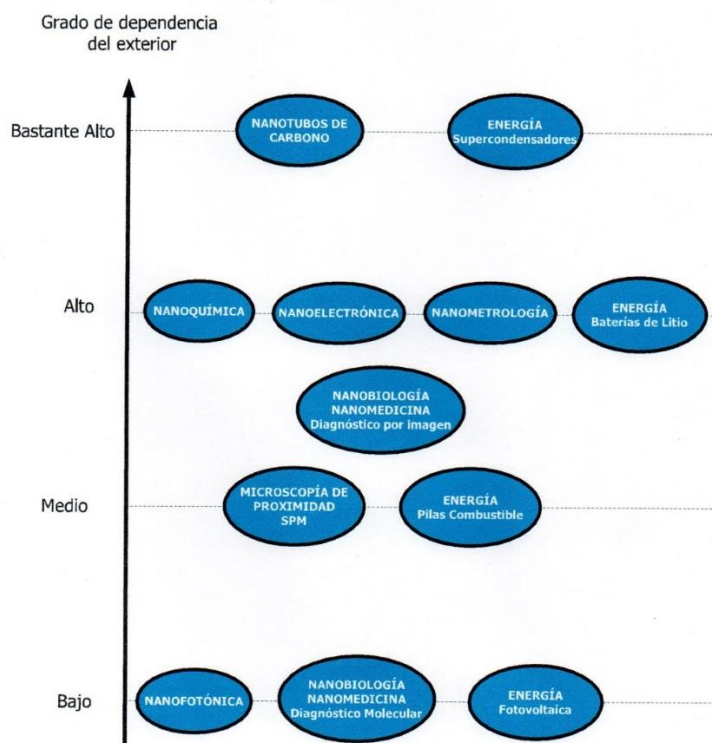


Figura 5. Nos muestra el grado de dependencia del exterior (a nivel industrial) en cada área temática de la nanotecnología. [7]

Vivir en un clima cambiante, nos revela que debemos pensar en una gestión sostenible, para garantizar la salud de todo nuestro entorno medio ambiental, aceptar y adaptarnos al cambio climático que llegó para quedarse, considerar que estos cambios climáticos plantean riesgos cada vez más graves para los ecosistemas, el aire, el suelo, las plantas, la salud humana y la economía en nuestro País.

La actividad en Investigación, nos debe llevar a nuevos e importantes conocimientos, tratando de aplicarlos en forma sucesiva a fin de asegurar en un futuro próximo, hacia el año 2050, una reducción de emisiones, retención en el suelo de la mayor cantidad de carbono posible, mejoramiento paulatino de la construcción y uso de materiales más amigables, confiables y seguros hacia la transición de una sostenibilidad permanente, reduciendo en lo posible daños y costos de condiciones meteorológicas extremas.

## **7. Referencias**

- [1] STANLEY E. MANAHAN (2013). *Introducción a la Química Ambiental – Reverte Ediciones (México) ISBN: 978-6708-67-7 y (España) ISBN: 84291-7911-9.*
- [2] CARMEN OROZCO BARRENETXEA, ANTONIO PEREZ SERRANO, MA NIEVES GONZALEZ DELGADO, FRANCISCO J. RODRIGUEZ VIDAL, JOSÉ MARCOS ALFAYATE BLANCO (2011). *Contaminación Ambiental, Una visión desde la química – Editorial Paraninfo S.A. ISBN: 978-84-9732-178-5.*
- [3] AGENCIA EUROPEA DEL MEDIO AMBIENTE (2015). *Señales de la AEMA 2015 – AEMA, Copenhague, 2015 ISBN 978-92-9213-669-7 - ISBN: 2443-7492 – doi: 10.2800/51289 – Edición ecológica impresa en Dinamarca.*
- [4] ROBERT L MCGINNIS, KEVIN REIMUND, JIAN REN, LINGLING XIA, MAQSUD R. CHOWDHURY, XUANHAO SUN, MARITZA ABRIL, ET, AL (2018). *Join AAASections Artículo de Investigación – Material Science- Membranas de nanotubos de carbono poliméricos a gran escala con poros debajo de 1,27 nm – Science Advance 9/Marzo/2018 – Vol 4 Nro. 3 e1700938 DOI: 10.1126/sciadv.1700938.*
- [5] MARÍA B. CARENAS FERNÁNDEZ, JORGE L. GINER ROBLES, JAVIER GONZÁLEZ YELAMOS, MANUEL POZO RODRÍGUEZ (2014). *Geología – Editorial Paraninfo ISBN: 9788497328944 – Impreso en España.*
- [6] MIGUEL ÁNGEL BLESAS, MARÍA DOS SANTOS AFONSO, MARÍA CRISTINA APELLA (2012). *Agua y Ambiente, un enfoque desde la química – Editorial Eudeba, Universidad de Buenos Aires. ISBN 978-950-23-1957-5.*
- [7] P.A. SERENA Y A. CORREIA (2003). *“Nanotecnología. El motor de la próxima revolución tecnológica” – Apuntes de Ciencia y Tecnología – 9, 32-42.*
- [8] A. CORREIA, M. PEREZ, JJ SAENZ Y P.A. SERENA (2007). *“Nanotechnology applications: a driving force for R and D investment”, Phys Stat Sol 204, 1611-1622.*
- [9] US NATIONAL NANOTECHNOLOGY INITIATIVE (NNI): <http://www.nano.gov>
- [10] C. P. POOLE AND F. J. OWENS (2003), *“Introduction to the Nanotechnology”, Wiley – VCH, Weinheim.*
- [11] RED ESPAÑOLA DE NANOTECNOLOGIA: <http://www.nanospain.org>
- [12] COMISIÓN EUROPEA, COM (2004). *“Hacia una estrategia europea para las nanotecnologías” – 338.*
- [13] MASSIMO MACUCCI, STEPHAN ROCHE AND ANTONIO CORREIA (2008). *“Reporto n multiscale approaches to modeling for nanotechnology” – Ediciones, to be published.*

- [14] EI HOWAYEK, A. (2011), *Characterization, rheology and microstructure of laponite suspensions*, MSc. Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- [15] MOONEY, R.W., KEENAN, A.G., Y WOOD, L.A. (1952). *Adsorption of Water Vapor by Montmorillonite, I. Heat of Desorption and Application of BET Theory*. Journal of the American Chemical Society, 74(6), 1367-1371.