

20
17

INGENIERÍA

VOLUMEN 4

ALDÍA

¿Cómo conducen los **METALES ULTRA DELGADOS?**



Reología de Sistema Granular Bidimensional Sometido a Cizalle

El ser humano está creando y controlando una red nunca antes vista en ninguna otra época de la existencia.

Arquitectura Neuronal para robots

Gran parte de los avances contemporáneos en informática han resultado de una continua miniaturización de los componentes electrónicos, con un progreso que ha alcanzado una velocidad prodigiosa.

Nanotubos Magnéticos

La falta de conocimiento previo sobre las variables que pueden influir en que un alumno deserte de la carrera que cursa es una de las mayores problemáticas, sobre todo por su complejidad en predecirla.

Diseño de Prototipo de Equipo Electrónico

El hombre está impactando su hábitat, pero no a la geología del planeta como para hacer cambiar la época geológica presente, sino que está impactando y dañando su propia existencia.

DIRECTORA

Karen Kanzúa, Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

EDITOR GENERAL

Sergio Cárdenas, Académico de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

COMITÉ EDITORIAL

Loreto Muñoz, Académica investigadora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

Juan Luis Palma, Académico investigador de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

Katherine Flores, Periodista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile.

Sebastián Chandía, Diseñador de la Revista de Ingeniería.



HOMENAJE A
LUIS
MORAGA
JARAMILLO



Hace algunos días dejó de estar con nosotros Luis Moraga Jaramillo, Doctor en Física de la Universidad de Chile, profesor de esa misma casa de estudios, y durante estos últimos años de la Universidad Central. Juan Luis Palma, me pidió algunas palabras, sobre él, sabiendo que llevábamos mucho tiempo trabajando juntos. Por supuesto accedí... a pesar de no tener claro exactamente que escribir.

Soy Físico, partamos por el comienzo.

Conocí a Luis durante el desarrollo de mis estudios y trabajos de tesis de Magister y Doctorado en la Universidad de Chile, en un grupo liderado por Raúl Muñoz, y conformado también por Germán Kremer. Él era el teórico del grupo, y como soy experimental, tuvo la dura labor de enseñarme y compartir sus conocimientos sobre los tratamientos teóricos que modelan el transporte eléctrico en películas metálicas delgadas. Posteriormente, me fui a la Universidad Técnica Federico Santa María, desde donde continuamos trabajando y publicando artículos sobre los mecanismos que generan resistencia eléctrica en estructuras metálicas con forma de películas delgadas, nanotubos y nanoalambres. Durante este último año, nos encontrábamos abordando el tema de percolación eléctrica, cuyos primeros resultados fueron publicados en un número anterior de esta misma revista.

Escrito esto, tengo la sensación de no haber expresado nada aún.

*Por esto, decidí pedir a otras personas que trabajaron con Luis algunas palabras.
Dos Físicos me enviaron sus sentires, los cuales transcribo a continuación.*

Claudio González F.

Doctor en Física de la Universidad Técnica Federico Santa María, expresó:

Conocí a Luis Moraga en los últimos años de mi Licenciatura, cuando me guió en los primeros temas de investigación que desarrollé en mi carrera. Recuerdo que hablar con él era muy aclarador: después de cada conversación con él se sentía que uno había aprendido mucho, me impresionaba eso. Siempre estuvo dispuesto a ayudarme en todo lo que necesité.

También era muy generoso, me regaló los libros que necesité para mi investigación, los cuales todavía conservo. Muchas veces ocurría que nos quedábamos varios alumnos conversando con él en su oficina y después nos invitaba a almorzar a todos. Hoy veo que en el mundo de la academia abundan las intrigas, deshonestidad, competencia brutal y otros vicios, entonces recuerdo a Luis como un ejemplo inspirador apartado de todo eso. Me quedo con ese buen recuerdo."



Claudio Arenas

Doctor en Física de la Universidad de Chile, agregó:

"Luis para mí fue un maestro en muchos aspectos. Es casi seguro que no habría llegado donde estoy si no es por su apoyo y su guía. Reconozco en él un talento mayúsculo en la física matemática y en lo que significa ser científico para mí, que es hacerse siempre preguntas. Fue como todos, un ser humano con virtudes y defectos, pero para mí además fue un maestro en todo el sentido de la palabra."



Leyendo esto, pude aclarar algunas ideas de lo que quería decir. Sin embargo, el hecho final que terminó con mis dudas fue conocer a Marcela, su compañera de vida, quien me contó sobre la parte de Luis que yo no conocía.

Luego de varios días de cavilaciones, tengo claro que Luis fue un físico brillante, y que no conozco muchos así. Como pocos teóricos, comprendía y valoraba genuinamente los alcances y dificultades del área experimental. Valoraba de sobremanera cada uno de los avances que uno pudiera lograr, por mas pequeño que este fuera, y creo entender ahora, que lo hacía porque ese impulso terminaba empujándote a querer ir más allá, a seguir más adelante aún. No era muy apegado a las reglas del "mundo académico", su actuar apuntaba a sobreponerse a ellas (no a no respetarlas, que eso es otra cosa). A priori, no rechazaba una idea de otro, trataría de comprenderla y enriquecerla. Era muy generoso con sus conocimientos, siempre que uno se lo pidiera los compartía. Y creo que había algo más... algo así como un interés genuino por avanzar en la comprensión de la Física, por encima de factores de impacto, cuartiles de revistas u otros indicadores tan importantes para el desarrollo de nuestra carrera científica. Creo que eso va un poco en contra de nuestros tiempos de concursos, pero deja una marca, en el desarrollo de uno como científico y persona.

Terminando de escribir estas líneas, tengo claridad de mi sentir. Me he dado cuenta de lo afortunado que fui al haber compartido durante tanto tiempo el trabajo científico con Luis, y al haberlo conocido. Además, tengo claro que con el pasar del tiempo notaré mucho más su ausencia, ya que creo honestamente, que muchas de las cosas que valoro en mi quehacer, están relacionadas con el apoyo que obtuve de él.

Gracias Profesor.

Ricardo Henríquez C.

Valparaíso, Diciembre de 2017.



¿COMO CONDUCEN LA ELECTRICIDAD LOS METALES ULTRA DELGADOS?

Luis Moraga, PhD en Física

Ricardo Henriquez, PhD en Física

La posibilidad de controlar las variables que determinan la resistencia eléctrica en los conductores metálicos muy delgados tiene actualmente una vasta importancia tecnológica. A menudo estos conductores son películas o alambres que carecen de una estructura continua y están formados en cambio por una acumulación de granos débilmente acoplados. Así, el transporte de electrones es un proceso discontinuo, dominado por las limitaciones del efecto túnel, el que a su vez está determinado por las fluctuaciones de carga. Además, este transporte por túnel no consiste en una sucesión de eventos individuales, sino que en una danza coherente —denominada cotúnel— en que participan concertadamente varios electrones. Por otra parte, especialmente en las etapas iniciales de su fabricación, los granos están tan

separados que no existe una ruta directa para el transporte de carga de un extremo al otro del conductor. Por el contrario, el proceso es semejante a la percolación de un líquido a través de un material poroso. A pesar de que todos estos procesos resultan de la interacción dinámica de muchas partículas —y su comprensión está, por lo tanto, situada en la frontera del tratamiento teórico de la ciencia actual— es posible obtener resultados importantes a partir de consideraciones elementales. Estas se refieren especialmente a la dependencia de la conductividad eléctrica como función de la temperatura, cuya investigación es una de las herramientas de mayor interés experimental. En este trabajo revisaremos algunos de estos resultados teóricos con la intención de proponer las bases para la interpretación de las investigaciones experimentales actualmente en progreso.

INTRODUCCIÓN

A fines del siglo pasado nació un nuevo campo de estudio, usualmente conocido como nanociencia, cuyo explosivo crecimiento continúa hasta hoy. Este campo se extiende a través de la química, la física y la ingeniería y comprende desde problemas fundamentales hasta aplicaciones tecnológicas (en cuyo caso la ciencia se denomina usualmente nanotecnología). El propósito de esta nueva ciencia consiste en entender, construir y controlar objetos cuyo tamaño se extiende a unos pocos nanómetros y, por lo tanto, están compuestos de unos pocos átomos.

Los materiales de la nanociencia son, por tanto, intermediarios entre los átomos y moléculas y la materia de tamaño macroscópico. Para comprender sus propiedades, que son a menudo imprevisibles desafíos a la intuición, es necesario utilizar las herramientas de la mecánica cuántica de muchas partículas —lo que usualmente sitúa estos problemas en las fronteras de la investigación teórica actual. Además, tanto la fabricación, la manipulación como la investigación experimental de estos nanomateriales implica problemas prácticos que son altamente no triviales. Como, por otra parte, las propiedades de estos nanomateriales dependen, de una manera substancial de sus dimensiones o de la temperatura, se abren así oportunidades novedosas de estudio o de control.

Gran parte de los avances contemporáneos en informática han resultado de una miniaturización continuada de los componentes electrónicos, con un progreso que ha alcanzado una velocidad prodigiosa. Como cada generación de componentes ha disminuido progresivamente en tamaño, se tiene que tanto los dispositivos como las interconexiones están ya constituidos por pocos átomos. Por lo tanto, el problema del transporte de carga en estas nanoestructuras tiene una relevancia importante. Dependiendo de su estructura detallada, estos materiales pueden exhibir un amplio espectro de diferentes procesos, que van desde conductividad por saltos hasta aquellos característicos de los líquidos de Fermi confinados. Los detalles de muchos de estos procesos son todavía misterios cuya solución constituye hoy una interesante área de investigación. Además, sin duda, existen allí ocultos nuevos y, quizás, sorprendentes fenómenos en espera de sus descubridores.

Los efectos del bloqueo Coulombiano

Las películas metálicas muy delgadas o los alambres muy finos no tienen un espesor uniforme, sino que están formados por islotes alargados, distribuidos de manera ramificada y de forma irregular. En las etapas iniciales de formación del material, los islotes no se tocan entre sí, si no que están separadas por brechas de largo L igual a pocos nanómetros. Los electrones pueden atravesar estas barreras —con una probabilidad que decrece muy rápidamente con L — mediante un proceso puramente cuántico, llamado efecto túnel. Para poder hacer esto, existe un obstáculo adicional —llamado bloqueo Coulombiano que cada electrón debe remontar. Cuando un electrón abandona un grano metálico deja tras de sí una carga positiva y agrega una negativa al grano al cual llega. Para esto requiere adquirir una energía de bloqueo Coulombiano (o de carga) E_c . Finalmente,

como los electrones son partículas de Fermi y dos de ellos no puede ocupar un mismo estado, la probabilidad de transición entre el grano de la izquierda i y el de la derecha d depende de la probabilidad combinada de que el estado inicial de energía E esté ocupado —lo que ocurre con probabilidad $f(E)$ — y el final esté desocupado —lo que ocurre con probabilidad $1 - f(\xi - E_c + eV)$; en donde f es la distribución de Fermi-Dirac

$$1 - f(\mathcal{E} - E_c + eV)$$

en donde f es la distribución de Fermi-Dirac

$$f(\mathcal{E}) = \frac{1}{1 + e^{(\mathcal{E} - \mathcal{E}_F)/k_B T}}$$

T es la temperatura, ξ_F es la energía de Fermi en el metal y V es el voltaje aplicado al material. Al restar la corriente producida por los electrones que saltan en sentido opuesto, tenemos que la corriente neta I está dada por

$$I = \frac{4\pi e}{\hbar} \sum_{i,d} |T_{i,d}|^2 \{f(E_i - eV) [1 - f(E_d - E_c)] - f(E_d) [1 - f(E_i - eV - E_c)]\},$$

en donde e es la carga del electrón y la suma es sobre todos los niveles de energía E_i e E_d de las nanopartículas de la izquierda y derecha, respectivamente. La cantidad $T_{i,d}$ es la matriz de la transición —que, por describir un proceso elástico, es nula si $E_i \neq E_d$.

Las consideraciones que siguen están basadas en las referencias [1] a [5]. Debido a que en una partícula de tamaño nanoscópico los niveles de energía están muy próximos y que, por otra parte, tanto eV como la energía del bloqueo Coulombiano E_c son mucho menores que la energía de Fermi E_F , la suma de la ecuación de I mostrada anteriormente se puede aproximar por una integral

$$I = \frac{4\pi e}{\hbar} |T(\mathcal{E}_F)|^2 \rho^2(\mathcal{E}_F) \int_{-\infty}^{\infty} \{f(\mathcal{E} - eV) [1 - f(\mathcal{E} - E_c)] - f(\mathcal{E}) [1 - f(\mathcal{E} - eV - E_c)]\} d\mathcal{E},$$

en donde $\rho(E_F)$ es la densidad de estados en el nivel de Fermi. La integral puede ser extendida desde menos a más infinito porque (para temperaturas razonables) las funciones $f(E)$ son diferentes de cero o uno sólo en un intervalo estrecho de la variable E .

La integral sobre E debe ser realizada con cuidado, porque es singular. En efecto,

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^{\infty} f(\mathcal{E}) [1 - f(\mathcal{E} - eV - E_c)] d\mathcal{E} \\ &= \frac{1}{e^{(eV+E_c)/k_B T}} \int_{-\infty}^{\infty} [f(\mathcal{E} - eV - E_c) - f(\mathcal{E})] d\mathcal{E} \\ &= \frac{1}{e^{(eV+E_c)/k_B T}} \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{E} \left\{ \left[-\frac{\partial f}{\partial \mathcal{E}}(\mathcal{E} - eV - E_c) \right] - \left[-\frac{\partial f}{\partial \mathcal{E}}(\mathcal{E}) \right] \right\} d\mathcal{E} \\ &= \frac{eV - E_c}{e^{(eV+E_c)/k_B T}}, \end{aligned}$$

en donde se ha integrado por partes y utilizado el hecho que $[-\partial f(\mathcal{E})/\partial \mathcal{E}] \simeq \delta(\mathcal{E} - E_f)$.

De este modo, la corriente eléctrica I es

$$I = \frac{4\pi e}{\hbar} |T(\mathcal{E}_F)|^2 \rho^2(\mathcal{E}_F) \left[\frac{E_c + eV}{1 - e^{(E_c+eV)/k_B T}} - \frac{E_c - eV}{1 - e^{(E_c-eV)/k_B T}} \right]$$

Si $eV \ll E_c$, la corriente obedece a la ley de Ohm.

$$I = \frac{4\pi e^2}{\hbar} |T(\mathcal{E}_F)|^2 \rho^2(\mathcal{E}_F) \left[\frac{1 - (1 - e^{E_c/k_B T})e^{E_c/k_B T}}{(1 - e^{E_c/k_B T})^2} \right] V$$

La forma de la conductividad adimensional $g(E_c/k_B T)$

$$g(x) = \frac{1 - (1 - e^x)e^x}{(1 - e^x)^2}$$

está ilustrada en la figura 1. Notamos que, a bajas temperaturas $k_B T \ll E_c$, $g(E_c/k_B T) \approx \exp(-E_c/k_B T)$ mientras que, a temperaturas altas $g(E_c/k_B T) \approx \exp(-E_c/3k_B T)$.

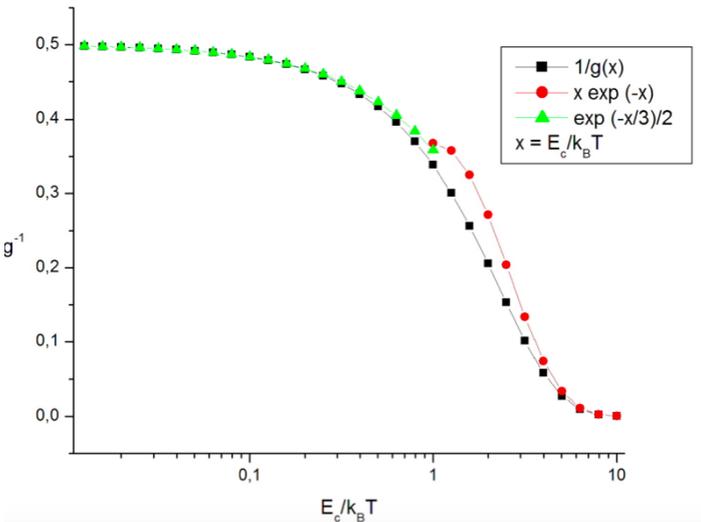


FIGURA 1

La conductividad adimensional g como función de la temperatura (ecuación (6)). Tanto a temperaturas altas ($g \simeq \exp(-E_c/3k_B T)$) como a bajas ($g \simeq \exp(-E_c/k_B T)$) el proceso se parece a uno gobernado por una energía de activación.

La Percolación

La conductancia total G de una red de conductores desordenados es

$$G = G_0 e^{-\xi_c},$$

donde ξ_c es el valor de ξ en el umbral de percolación, es decir, el punto en que aparecen los primeros caminos conductores —quizás largos y complejos— que conectan un extremo de la muestra con el otro. El punto no es desentrañar la forma del prefactor independiente de la temperatura G_0 , si no que averiguar cómo depende ξ_c de la temperatura. La manera de hacer esto está descrita en las referencias [2, 4]. Si f_c es la fracción de conductores presentes en el umbral de percolación y $P(\xi)$ la densidad de probabilidad de encontrar dos nanopartículas vecinas con conductancia $G_0 e^{-\xi}$, entonces ξ_c está dado por

$$f_c = \int_0^{\xi_c} P(\xi) d\xi$$

Suponiendo que L y E_c son variables no correlacionadas

$$P(\xi) = (1 - f_v) \int P_\lambda(\lambda) P_\mathcal{E}(\mathcal{E}) \delta[\xi - \lambda - \ln g(\mathcal{E})] d\lambda d\mathcal{E},$$

en donde f_v es la fracción de sitios vacíos y $P_\lambda(\lambda)$ y $P_\mathcal{E}(\mathcal{E})$ son, respectivamente, las densidades de probabilidad de que exista un par de nanopartículas vecinas separadas por una brecha de longitud L y energía de Coulomb E_c . En esta ecuación g es la función definida en (6); con

$$\lambda = L \exp \sqrt{\frac{8mU_0}{\hbar^2}}; \quad \mathcal{E} = E_c/k_B T;$$

m es la masa efectiva de los portadores y U_0 la intensidad de la barrera de potencial que separa las nanopartículas. La fórmula final es

$$f = \frac{f_c}{1 - f_v} \int_0^\infty d\mathcal{E} P_\mathcal{E}(\mathcal{E}) \int_0^{\xi_c} d\xi P_\lambda[\xi - \ln g(\mathcal{E})].$$

Como la forma exacta de estas probabilidades es desconocida, Müller et al. [2, 4] suponen que son distribuciones uniformes; es decir

$$P_\lambda(\lambda) = \begin{cases} (\Delta\lambda)^{-1} & \text{si } \bar{\lambda} - \frac{1}{2}\Delta\lambda \leq \lambda \leq \bar{\lambda} + \frac{1}{2}\Delta\lambda \\ 0 & \text{en caso contrario,} \end{cases}$$

$$P_\mathcal{E}(\mathcal{E}) = \begin{cases} (\Delta E)^{-1} & \text{si } \bar{E} - \frac{1}{2}\Delta E \leq \mathcal{E} \leq \bar{E} + \frac{1}{2}\Delta E \\ 0 & \text{en caso contrario.} \end{cases}$$

La dependencia de ξ_c con la temperatura está ilustrada en las figuras 2 a 5. De acuerdo con la tabla 1 de la referencia [4], hemos supuesto que, uniformemente, $\lambda^- = 2$. Como $0 \leq f \leq 1$, se ha computado en cada caso curvas para los valores $f = 0.2, 0.4, 0.6$ y 0.8 . La figura 2 ilustra el caso en que las sean grandes tanto la dispersión típica ΔL de la longitud de las brechas L como ΔE_c , la dispersión típica de las energías de bloqueo Coulombiano E_c . La figura 3 muestra el caso opuesto, en que estas dispersiones típicas son pequeñas en comparación con los valores medios de L y E_c . Finalmente, la figura 4 ilustra el caso en que ΔL es pequeño, pero ΔE_c es grande mientras que la 5 muestra el caso opuesto en que ΔL es grande y ΔE_c es pequeño.

La manera como depende ξ_c (y, por lo tanto, la conductancia y la corriente) de la temperatura puede ser extraída de estas figuras. Notamos que ξ_c es proporcional a $(E_c/k_B T)^\alpha$; en donde el exponente α toma distintos valores a temperaturas bajas y altas, ejecutando una transición suave a una temperatura intermedia. A altas temperaturas, el exponente es semejante a uno y, en todo caso, sus valores son sólo débilmente dependientes de la temperatura y del tamaño del parámetro f .

EL EFECTO TÚNEL COHERENTE

Los procesos de conducción basados en pasos a lo largo de sucesivos granos utilizando el efecto túnel no son muy efectivos, porque la probabilidad de atravesar cada barrera disminuye rápidamente con la distancia entre grano y grano. En contraste, el efecto túnel coherente (o cotúnel) —descubierto por primera vez por Averin y Nazarov— es mucho más eficaz porque en él se mueven de una manera cooperativa varias cargas electrónicas sólo entre granos vecinos. [6] Por ejemplo, para transportar un electrón entre el grano número cero y el grano

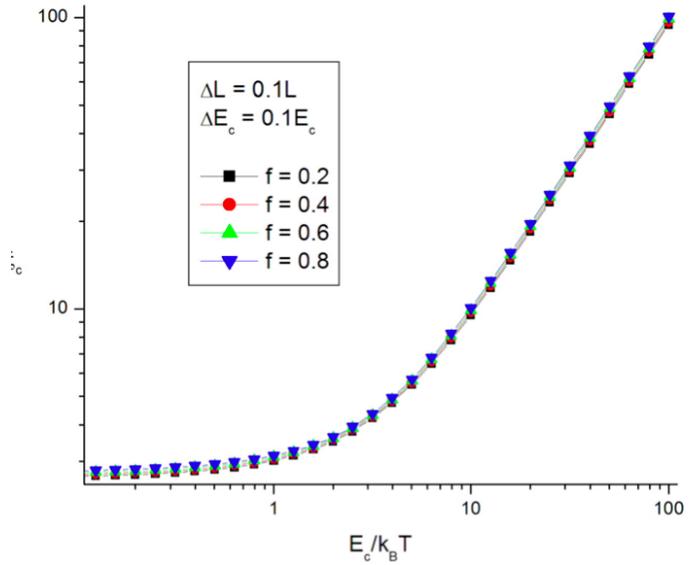


FIGURA 3

Valores de ξ_c en el umbral de percolación ξ_c como función de la temperatura (ecuación (11)) en el caso en que la dispersión típica tanto de L como de E_c son pequeñas. Aquí ξ_c casi no depende de $f = f/(1-f)$. A temperaturas altas $\xi_c \simeq E_c/k_B T$, pero a temperaturas bajas $\xi_c \simeq (E_c/k_B T)^\alpha$. La transición entre una y otra conducta es suave.

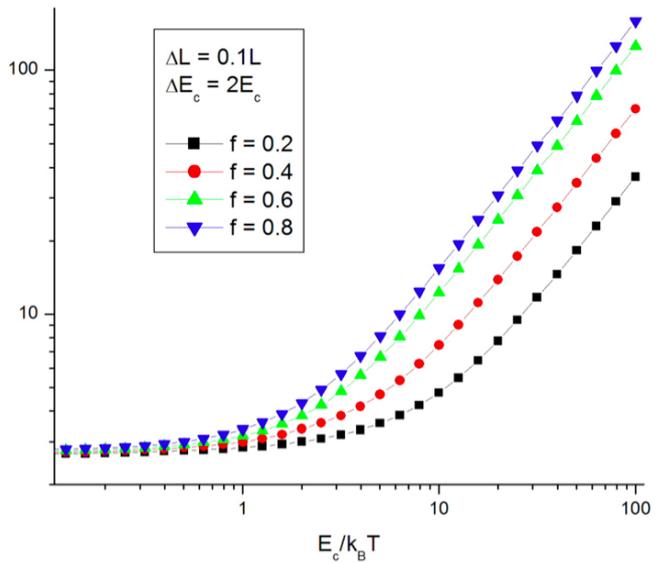


FIGURA 4

Valores de ξ_c en el umbral de percolación como función de la temperatura (ecuación (11)) en el caso en que la dispersión típica de L es pequeña, mientras que la de E_c es grande. Aquí el grado en que ξ_c depende de $f = f/(1-f)$ aumenta en la medida que disminuye la temperatura. De nuevo, a temperaturas altas $\xi_c \simeq E_c/k_B T$, pero a temperaturas bajas $\xi_c \simeq (E_c/k_B T)^\alpha$. La transición entre una y otra dependencia es suave.

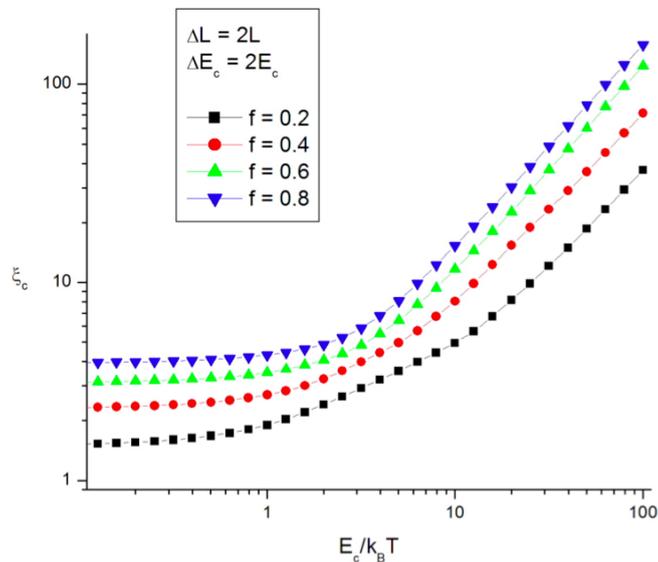


FIGURA 2

Valores de ξ_c en el umbral de percolación como función de la temperatura para diferentes valores de $f = f/(1-f)$ (ecuación (11)) en el caso en que las dispersiones típicas tanto de L como de E_c son grandes. A temperaturas altas $\xi_c \simeq E_c/k_B T$, pero a temperaturas bajas $\xi_c \simeq (E_c/k_B T)^\alpha$, en que el exponente α depende sólo débilmente de f . La transición entre una y otra conducta es suave.

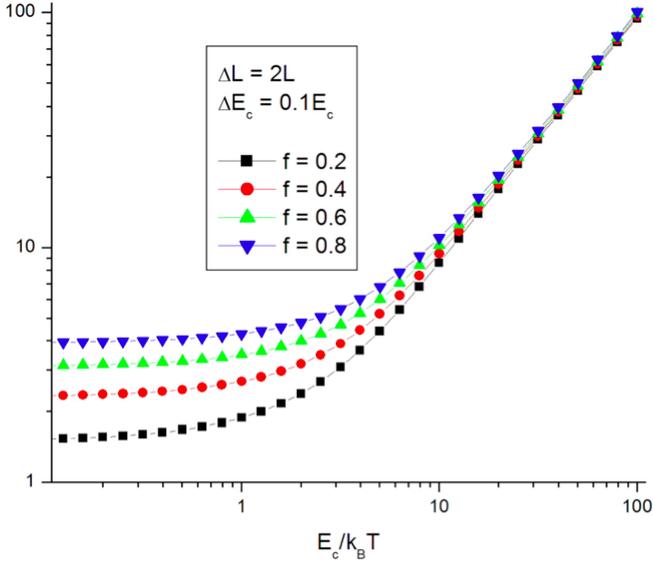


FIGURA 5

Valores de ξ_c en el umbral de percolación como función de la temperatura (ecuación (11)) en el caso opuesto en que la dispersión típica de L es grande, mientras que la de E_c es pequeña. Aquí el grado en que ξ_c depende de $f = f/(1-f)$ disminuye cuando disminuye la temperatura. De nuevo, a temperaturas altas $\xi_c \simeq E_c/k_B T$, pero a temperaturas bajas $\xi_c \simeq (E_c/k_B T)^\alpha$. La transición entre una y otra dependencia es suave.

número cinco mediante efectos túnel sucesivos habría que considerar el paso del grano cero al primer grano, de allí al segundo; etc. En cambio, en el cotúnel, se transporta al mismo tiempo, por túnel, un electrón desde el grano cero al primero, otro electrón desde el primero al segundo, etc. —todo ello gobernado por una sola función de onda de cinco partículas. El efecto neto es el mismo; pero las probabilidades son bien diferentes.

Como este es un proceso eminentemente cuántico, sólo puede ocurrir para partículas que se encuentran en regiones espaciales de tamaño menor que la longitud de coherencia ξ_{in} —una cantidad que disminuye a medida que aumenta la temperatura.

En el caso del cotúnel, la probabilidad P_{in} que un electrón sea transportando desde un grano i_0 con energía E_0 hasta el grano i_{N+1} con energía E_{N+1} es [7, 8]

$$P_{in} = \frac{w}{4\pi k_B T} \frac{\bar{g}^{N+1}}{\pi^{N+1}} \left[\frac{4\pi k_B T}{\bar{E}} \right]^{2N} \frac{|\Gamma[N(1+ix)]|^2}{\Gamma(2N)} e^{-\Delta/2k_B T},$$

en donde

$$w = f(\mathcal{E}_0)[1 - f(\mathcal{E}_{N+1})],$$

\bar{g} y \bar{E} son las conductancias y energías de excitación partícula-laguna promediadas a lo largo del camino recorrido por el cotúnel,

$$\Delta = \mathcal{E}_{N+1} - \mathcal{E}_0$$

es la diferencia de energías entre el estado final y el inicial,

$$x = \frac{\Delta}{2\pi N k_B T},$$

y $\Gamma(x)$ es la función gamma. De acuerdo con el procedimiento de las referencias [7] y [8], es conveniente

escribir esta probabilidad como

$$P_{in} = P_0 e^A,$$

en donde la acción es

$$A = -\frac{2N}{\xi_{in}} + \ln \Gamma[N(1+ix)] + \ln \Gamma[N(1-ix)] - \frac{\Delta}{2k_B T},$$

y ξ_{in} es la longitud de localización

$$\xi_{in}^{-1} = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\bar{E}^2}{16c\pi \bar{g} k_B^2 T^2} \right),$$

que depende débilmente de la temperatura. (c es una constante de orden de magnitud uno.)

Como existen muchos caminos posibles entre el grano inicial y el final, que conducen todos en paralelo, el proceso de conducción está dominado por el camino más corto. El paso siguiente consiste en minimizar el valor de la acción (14) con respecto a variaciones de N , bajo la restricción de mantener constante la cantidad b , definida por

$$\frac{Na\Delta\tilde{\kappa}}{e^2} = b,$$

es decir, $d\Delta/dN = -\Delta/N$. Aquí $\tilde{\kappa}$ denota la constante dieléctrica del medio en el que están inmersos los granos y a es el diámetro típico de un grano. Para simplificar esta minimización conviene utilizar la aproximación asintótica de Stirling

$$\ln \Gamma(x) \sim (x - \frac{1}{2}) \ln x - x + \frac{1}{2} \ln(2\pi).$$

Despreciando algunos términos de orden N^{-1} y un irrelevante $\ln 4$, la condición de minimización de A es

$$\frac{2}{\xi_{in}} = \ln(1+x^2) + \pi x \left(1 + \frac{2}{\pi} \arctan x \right).$$

De acuerdo con las ecuaciones precedentes el valor de la acción A en este mínimo es

$$-A\sqrt{C\xi_{in}k_B T} = \frac{1}{2}\sqrt{\pi\xi_{in}x}\left(1 + \frac{2}{\pi}\arctan x\right),$$

con la constante C dada por

$$C = \frac{a\tilde{\kappa}}{8be^2},$$

y la relación entre ξ_{in} y x está dada por (22). La dependencia de A en x (y, por lo tanto, en temperatura) dada por esta ecuación está ilustrada en la figura 6. Es interesante notar que $-A$ es esencialmente proporcional a $(1/\xi_{in}k_B T)^{1/2}$, con la constante de proporcionalidad variando débilmente, en las cercanías de uno, dentro de un amplio intervalo de temperaturas.

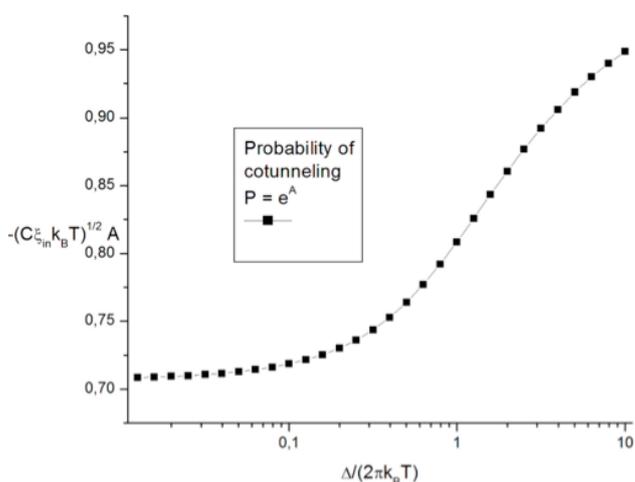


FIGURA 6

La probabilidad de transmisión por cotúnel (y por lo tanto, la conductividad y la corriente) es proporcional a $\exp(A)$. El cálculo de la dependencia de la acción A con la temperatura (de acuerdo con la ecuación (23)) muestra que $-\xi_{in}k_B TA$ es esencialmente independiente de la temperatura; y que, por lo tanto, $P \simeq \exp(-T0/\xi_{in}T)$.

CONCLUSIONES

Cuando se mide la conductividad eléctrica de películas metálicas delgadas o alambres finos, se encuentra tres distintos cartabones de conducta. Para muestras de tamaño mayores que unos cientos de nanómetros las propiedades son esencialmente las del metal en grueso. Si la sección de la muestra es de decenas de nanómetros, se encuentra que la conductividad disminuye porque las dimensiones de la muestra son menores que el libre camino medio de los portadores. Finalmente, cuando el metal tiene unos pocos nanómetros de espesor, la conductividad se reduce en varios órdenes de magnitud y el coeficiente de resistividad con la temperatura es negativo. Es este el tipo de material que nos interesa aquí.

A partir de las investigaciones más tempranas se sabe que las muestras metálicas tan delgadas consisten en una superposición de islotes pequeños y separados unos de otros por brechas de tamaño nanoscópico [9, 10]. El hecho que el coeficiente de resistencia con la temperatura sea negativo sugiere un proceso de activación térmica, con probabilidades de salto proporcionales a $\exp(-T0/T)$. Mediciones precisas han confirmado este tipo de conducta [1]. Sin embargo, investigaciones posteriores mostraron la presencia de otros procesos con probabilidades proporcionales a $\exp(-T1/T)$. Esta variedad de conductas es el resultado de la multiplicidad de procesos de conducción que conviven en este tipo de muestras.

En este trabajo hemos determinado la dependencia en la temperatura de los procesos de bloqueo Coulombiano, la percolación y el cotúnel. (Notamos que la dependencia con la temperatura de este último proceso sólo había sido obtenida en el pasado para el caso de temperaturas altas.) Además, la proporción con que cada uno de estos procesos contribuyen a la conductividad total puede ser estimada experimentalmente. Por ejemplo, a partir de microfotografías de las muestras, se puede determinar la distribución estadística de la separación y el tamaño de los granos (la que, a su vez, determina la distribución de energías E_c).

Al presente hemos medido la conductividad eléctrica, a temperaturas que varían desde 4 a 300 K, de un buen número de películas metálicas ultradelgadas, preparadas bajo condiciones que aseguran una morfología precisa. Las consideraciones del presente trabajo permitirán entender cuáles son los diferentes procesos en juego; y en qué proporción contribuye cada uno.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. A. Neugebauer y M. B. Webb, *J. Appl. Phys.* 33, 74 (1962).
- [2] K.-H. Müller, J. Herrmann, B. Raguse, G. Baxter, y T. Reda, *Phys. Rev. B* 66, 075417 (2002).
- [3] M. M. A. Yajadda, K.-H. Müller, y K. Ostrikov, *Phys. Rev. B* 84, 235431 (2011).
- [4] K.-H. Müller y M. M. A. Yajadda, *J. Appl. Phys.* 111, 123705 (2012).
- [5] M. M. A. Yajadda, *J. Appl. Phys.* 116, 153707 (2014).
- [6] D. V. Averin y Y. V. Nazarov, *Phys. Rev. Lett.* 65, 2446 (1990).
- [7] I. S. Beloborodov, A. V. Lopatin y V. M. Vinokur, *Phys. Rev. B* 72, 125121 (2005).
- [8] I. S. Beloborodov, A. V. Lopatin, V. M. Vinokur, y K. B. Efetov, *Rev. Mod. Phys.* 79, 469 (2007).
- [9] H. J. Levinstein, *J. Appl. Phys.* 20, 306 (1949). [10] R. S. Sennett y G. D. Scott, *J. Opt. Soc. Am.* 40, 203 (1950).



Karen Kanzúa A.

Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile

Con la nueva ley de educación chilena, que está ad portas de aprobarse, se vienen grandes desafíos para la Universidad, especialmente en el ámbito de la I+D+I, es por esto que para la Facultad de Ingeniería continuar y fortalecer el trabajo que hemos venido desarrollando en esa línea cobra una mayor relevancia y nos impone nuevos retos y metas que afrontar.

Desde la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central, ofrecemos este nuevo número de 'Ingeniería al Día', el cual trae consigo impreso en cada página, horas de mucho esfuerzo y dedicación por parte de un equipo humano altamente comprometido con la excelencia y el saber científico y tecnológico. El presente tomo de la revista, viene cargado con interesantes artículos de diversas líneas investigativas, desarrollados por nuestros académicos e investigadores en sus distintos campos de expertise.

Ver en lo que se está transformando la revista con cada nueva edición, no puede sino llenarnos de orgullo a todos quienes hacemos vida en la Facultad de Ingeniería, lo que por supuesto nos invita y motiva a ir por más desafíos en próximas ediciones.

Para la Facultad Ingeniería de la Universidad Central de Chile esta edición tiene un especial sentido, pues a través de ella queremos hacer un reconocimiento póstumo a quien en vida aportó con todo su ser al mundo del conocimiento científico, al físico y Doctor Luis Moraga Jaramillo, a él y a sus familiares, queremos dedicarle esta edición con todo el sentimiento de agradecimiento y respeto que merecen.

Luis Alberto Moraga Jaramillo, profesor de Matemática y Física de la Universidad de Chile, Magister en Física de la PUC, Doctor en Ciencias con Mención en Física de la Universidad de Chile especialidad: Física de la Materia condensada. Desde 1987 que tuvo proyectos de investigación, fue uno de los pioneros en investigar transporte en sólidos. Sus últimos trabajos están relacionados con las propiedades de conducción en nanoestructuras. Profesor de la Facultad de Ingeniería desde hace más de 15 años y colaborador desde la génesis de la Revista Ingeniería al día, por allá por el año 2002.

Me permito agradecer desde esta tribuna todo lo entregado por el profesor Moraga en estos años dedicados a la formación de Ingenieros, y a la generación de conocimiento en el ámbito de la Física, sin duda lo que más recordaremos de él, buena disposición y ganas de transmitir su experiencia para ayudar en cualquier problema que uno le manifestara. Gracias profesor Moraga.

Estamos muy felices con este número de la revista, ya que hemos logrado romper cierta inercia en la facultad y los académicos están comenzando a difundir sus trabajos. Trabajos que siempre realizaron, pero ahora están empezando a presentarlos al entorno para hacerlo visible. Tal como ya se ha estado observando en las publicaciones anteriores, esta edición contiene artículos de diversas áreas de la ingeniería, con trabajos de investigación en física teórica, física de partículas y medios granulares, nanosíntesis, robótica e ingeniería industrial y riesgo laboral; trabajos de ingeniería aplicada en eficiencia energética en construcción, geoestadística y utilizando una metodología de aprendizaje adoptada por la Universidad Central de Chile: los proyectos A+A, en este caso apoyando a las MIPYME; un proyecto de innovación realizado por equipo de estudiantes en memoria y su profesor guía para el ahorro de agua; un artículo de análisis crítico en geología y metalurgia para generar discusión en un país minero como el nuestro y finalmente, un artículo que muestra a la facultad inmersa en un nodo internacional de investigación que trabaja en género, emprendimiento e inclusión social.

Este ejemplar es especial para todos nosotros. Quisimos, como equipo editorial, rendir un homenaje póstumo al Doctor Luis Moraga Jaramillo, quién formó parte del primer equipo de editores de esta revista desde su creación y trabajó como académico realizando clases, laboratorios, guiando memorias y realizando investigación en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Chile. En lo personal, conocí al Doctor Moraga como Jefe del Laboratorio de Física y como docente de Ciencias Básicas de nuestra facultad, encontrándonos en pasillos, escaleras, en la oficina de profesores, o en el laboratorio de física, conversando de academia o de la vida. Lo que más recuerdo de Luis, es su sencillez, alegría, capacidad para integrar a todos en los grupos de conversación y su enorme generosidad, la cual se mantuvo presente aún en momentos en que estuvo saturado con clases, atención a estudiantes, gestión del laboratorio, escritura de publicaciones, siempre con una sonrisa y su presencia colorida, ofreciendo ayuda a quién lo necesitara. Con Luis empecé a entender el concepto de la relatividad del tiempo, ya que él como nadie lograba extender el tiempo.



Sergio Cárdenas

Editor
Académico de la Facultad de Ingeniería
de la Universidad Central de Chile

ÍNDICE

16

SOLUCIONES EXACTAS TIPO CUERDAS Y P-BRANAS NEGRAS EN RELATIVIDAD GENERAL

→ *Adolfo Cisterna, Julio Oliva*

A la fecha ha sido bien establecido que la relatividad general en espacio tiempo con dimensión mayor que cuatro admite soluciones como objetos negros con horizontes de eventos de diversa topología; siendo el típico ejemplo la cuerda negra.

20

NANOTUBOS MAGNÉTICOS

→ *Juan Luis Palma*

Las estructuras casi-unidimensionales se estudian debido a un interés de ciencia fundamental y de potencial tecnológico, y se presentó mayor interés después de que Iijima, en 1991, descubriera los nanotubos de carbón.

26

REOLOGÍA DE SISTEMA GRANULAR BIDIMENSIONAL SOMETIDO A CIZALLE

→ *Nelson Sepulveda, Francisco Melo, Francisco Vivanco*

Los medios granulares, son de amplio interés en varias áreas de la ingeniería, como también por su versatilidad en distintas aplicaciones industriales; sean estas de origen minero, farmacéutico, o agricultura.

32

ARQUITECTURA NEURONAL PARA ROBOTS AFFORDANCES CONTEXTUALES CON UNA ARQUITECTURA NEURONAL EN UN ESCENARIO ROBÓTICO

→ *Francisco Cruz*

Cada día más, robots están siendo usados en diversos campos de aplicación y se espera que ellos puedan llevar a cabo tareas hábilmente en tiempo real.

38

DISEÑO DE PROTOTIPO DE EQUIPO ELECTRÓNICO PARA EL AHORRO DE AGUA DE USO DOMICILIARIO

→ *Montserrat Landaeta, Raimund Hofmann, Enrique Fajjo*

El uso del agua potable se cuestiona constantemente, ya que es un recurso indispensable, vital, y no renovable, además es necesaria para variadas actividades realizadas por el ser humano.

40

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA VIVIENDA SOCIAL: ANÁLISIS DE MEJORAS EN AISLAMIENTO TÉRMICO A PARTIR DE LA REGLAMENTACIÓN TÉRMICA

→ *Héctor Hernández*

Los edificios representan alrededor del 40% del consumo mundial de energía y contribuyen con más del 30% de las emisiones de CO₂ (Yang, Yan, & Lam, 2014).

48

APLICACIONES DE LA VARIANZA DE ESTIMACIÓN EN GEOESTADÍSTICA

→ *Rolando Carrasco*

En términos generales se define a la Geoestadística como el estudio estadístico de fenómenos naturales, los cuales se caracterizan por la distribución en el espacio de las denominadas variables regionalizadas.

52

UNA APROXIMACIÓN AL PENSAMIENTO COMPLEJO EN EL DESARROLLO DE LA GEOLOGÍA, LA MINERÍA Y LA METALURGIA

→ *Orestes Gómez*

En los inicios de la civilización humana, el hombre en su continuo desarrollo, comenzó a utilizar los minerales para interactuar con el medio.

62

NODO DE INVESTIGACIÓN DE REOALCeI "GENERO, EMPRENDIMIENTO, POSTCONFLICTO E INCLUSION SOCIAL"

→ *Luis Iribarren*

Trabajar con micro-emprendedoras que intentan superar las propias contradicciones del mercado; y por otro el acompañamiento a las micro-emprendedoras desde una perspectiva social y humana.

66

CONSULTORIA JUNIOR EN GESTION DE RECURSOS HUMANOS PARA MIPYMES UTILIZANDO METODOLOGIA A+A

→ *Narda Oyanedel*

En el semestre de primavera de 2016 se aplicó la metodología de Aprendizaje-acción (A+A) en la cátedra de Gestión de Recursos Humanos de la carrera de Ingeniería Civil Industrial.

70

ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES FACTORES DE RIESGOS PSICOSOCIAL DE ÍNDOLE LABORAL

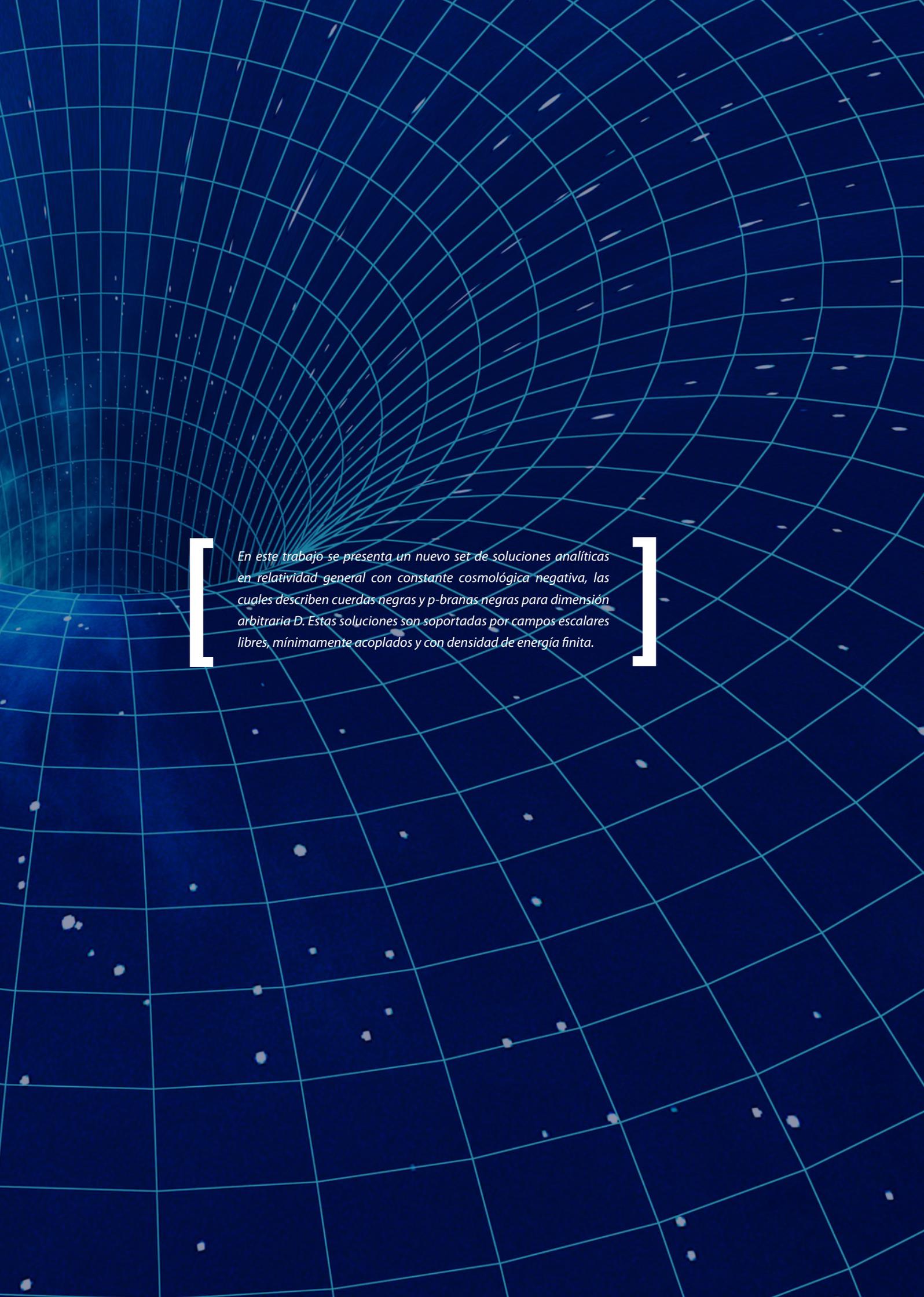
→ *Carmen Gloria González, Carolina Quezada, Víctor Betancourt*

En Chile, la cultura en prevención desde el punto de vista de la vigilancia de Riesgos Psicosociales en el trabajo no está lo suficientemente profundizada e implementada.

SOLUCIONES EXACTAS TIPO CUERDAS Y P-BRANAS NEGRAS EN RELATIVIDAD GENERAL

Adolfo Cisterna *Escuela de Ciencias Básicas*

Julio Oliva *Departamento de Física, U. de Concepción*



En este trabajo se presenta un nuevo set de soluciones analíticas en relatividad general con constante cosmológica negativa, las cuales describen cuerdas negras y p-branas negras para dimensión arbitraria D . Estas soluciones son soportadas por campos escalares libres, mínimamente acoplados y con densidad de energía finita.

INTRODUCCIÓN

A la fecha ha sido bien establecido que la relatividad general en espacio tiempo con dimensión mayor que cuatro admite soluciones cómo objetos negros con horizontes de eventos de diversa topología [1]; siendo el típico ejemplo la cuerda negra [2, 3]. La cuerda negra es un agujero negro con escalar de Ricci plano cuyo horizonte de eventos posee topología $S^2 \times S^1$, en contraste a la topología S^3 de la generalización de Myers-Perry de la geometría de Kerr [4]. La existencia de tales soluciones muestra como, en cinco ó más dimensiones, la teoría evade obstrucciones topológicas que en cuatro dimensiones se encuentran a la hora de admitir soluciones con pelo en espacios asintóticamente planos [5]. Para grandes valores del momentum angular, la solución de anillo negro puede ser descrita por una cuerda negra, la cual puede ser pensada haciendo una dimensión plana desenvuelta a la solución de Schwarzschild en cuatro dimensiones. Enrollando la solución de Schwarzschild-AdS en cuatro dimensiones y añadiéndole una dimensión extra uno puede fácilmente construir cuerdas negras en espacios AdS. Sin embargo, el factor de enrollamiento hace a la cuerda en AdS no uniforme, introduciendo dificultades que el caso asintóticamente no posee, especialmente cuando de estudiar su estabilidad dinámica se trata. Las cuerdas negras homogéneas en AdS pueden ser construidas numéricamente en relatividad general con una constante cosmológica negativa [6], [7] así también como en Supergravedad en cinco dimensiones con campos de gauge [8]. En este trabajo, probamos que relatividad general con constante cosmológica negativa, además de admitir soluciones no homogéneas y soluciones numéricas, también admite soluciones que describen cuerdas negras homogéneas y p-branas negras. Estas soluciones son soportadas por campos escalares acoplados libres y existen para una dimensión arbitraria D mayor que cuatro.

Resultados principales

Consideremos la teoría de Einstein en dimensión $D = d + p$, acoplada con p campos escalares $\psi^{(i)}$ con $i = 1, 2, \dots, p$. Las ecuaciones de campo son dadas por

$$(1) \quad G_{AB} + \Lambda g_{AB} = \kappa \sum_{i=1}^p T_{AB}^{(i)}$$

Con

$$(2) \quad T_{AB}^{(i)} = \frac{1}{2} \partial_A \psi^{(i)} \partial_B \psi^{(i)} - \frac{1}{4} g_{AB} \partial_C \psi^{(i)} \partial^C \psi^{(i)}$$

Y

$$(3) \quad \square \psi^{(i)} = 0 \text{ with } i = 1, 2, \dots, p$$

Acá GAB es el tensor de Einstein. De ahora en adelante usaremos $\kappa = 16\pi G = 1$. La teoría antes definida admite la siguiente solución

$$(4) \quad ds^2 = -F(r)dt^2 + \frac{dr^2}{F(r)} + r^2 d\Omega_{d-2, \gamma}^2 + \delta_{ij} dx^i dx^j$$

provista de

$$(5) \quad F(r) = \left(\gamma - \frac{2\mu}{r^{d-3}} - \frac{2\Lambda r^2}{(d-1)(d+p-2)} \right)$$

con x^i ($i = 1, \dots, p$) siendo coordenadas Cartesianas. Estas son las coordenadas a lo largo de las p-branas planas. Destacablemente, las soluciones para los campos toman la sencilla forma

$$(6) \quad \psi^{(i)} = \lambda x^i$$

con

$$(7) \quad \lambda^2 = -\frac{4\Lambda}{(d+p-2)}$$

Esto es, los campos escalares tienen una dependencia lineal en las coordenadas x^i . En (4) y (5) μ aparece como una constante de integración arbitraria, y $\gamma = \pm 1, 0$ representa la curvatura de una variedad Euclídea de curvatura constante, de dimensión $d-2$ y elemento de línea $d\Omega$. Nótese que (7) obliga a la constante cosmológica Λ a tomar un valor negativo. La solución aquí expuesta es la primera en su tipo encontrada de forma analítica, es decir, es la primera p-brana negra homogénea, analítica en relatividad de Einstein con una constante cosmológica negativa. El espacio tiempo (4) es asintóticamente AdSd \times Rp, con un radio de curvatura AdSd dado por:

$$(8) \quad \frac{1}{l^2} = -\frac{2\Lambda}{(d-1)(d+p-2)} = -\frac{2\Lambda}{(D-p-1)(D-2)}$$

Note que este valor del radio de curvatura AdSd modificado, l , obtenido con (8), difiere respecto del valor obtenido por la solución AdSd máximamente simétrica, $l = -2\Lambda/[(D-1)(D-2)]$. En general $l \leq l_0$, con la cota superior correspondiendo a $p = 0$. Podemos elegir $\gamma = \pm 1$ ó 0, lo cual lleva a tres posibles geometrías locales en el borde asintótico. Esto es, la teoría dual holográfica puede ser en principio formulada en RD-1 para $\gamma = 0$, $R \times S^{d-1} \times R^p$ para $\gamma = 1$, o $R \times H^{d-1} \times R^p$ para $k = -1$.

CONSTRUCCIÓN GENERAL

Consideremos ahora una métrica en D dimensiones con la siguiente forma

$$(9) \quad ds_D^2 = d\tilde{s}_d^2 + \delta_{ij} dx^i dx^j$$

y a un conjunto de campos escalares $\psi^{(i)} = \lambda x^i$, donde hemos separado los índices de tal manera que índices Griegos y objetos tildados viven en la variedad con elemento de línea $d\tilde{s}$, mientras índices Latinos corren a lo largo de las p direcciones extendidas. Las ecuaciones de Einstein (1) proyectadas a lo largo de la variedad $d\tilde{s}$ y de las direcciones extendidas x^i , respectivamente se reducen a

$$(10) \quad \tilde{G}_{\mu\nu} + \left(\Lambda + \frac{p\lambda^2}{4} \right) \tilde{g}_{\mu\nu} = 0$$

y

$$(11) \quad \tilde{R} = 2\Lambda - \left(1 - \frac{p}{2} \right) \lambda^2$$

La compatibilidad de la traza de (10) obtenida contrayendo tal ecuación con $\tilde{g}^{\mu\nu}$ con ecuación (11) implica que la constante λ debe ser fijada como en (7). En otros términos, la configuración de campos escalares induce un corrimiento en la constante cosmológica de cualquier variedad de Einstein d-dimensional. Luego, en la sección transversal de la p-brana podemos considerar cualquier solución de las ecuaciones de Einstein en d dimensiones, provistos de (10). Podemos, por ejemplo, considerar la solución rotante asintóticamente AdS de relatividad general con constante cosmológica negativa, la cual es caracterizada por $d-2$ momentos angulares [9-11], para construir cuerdas negras en AdS^d \times R^p, con un agujero negro rotante en la brama.

COMENTARIOS FINALES

Las soluciones de p-branas negras son soportadas por campos escalares $\psi^{(i)}$ los cuales son lineales en las coordenadas x^i . Aun cuando estos campos divergen en el límite $x^i \rightarrow \pm\infty$, ellos poseen una densidad de energía finita. Esto significa que la divergencia sólo proviene de la no compacidad de las direcciones extendidas. De hecho, la componente tt del tensor de energía momentum para la colección

$\psi^{(1)}$ resulta ser independiente de las coordenadas x_i . En consecuencia, uno puede definir la densidad de energía como en el caso de la cuerda negra homogénea con Ricci plano. En la solución (4) y (6) existe debido al hecho de que independientemente la métrica sea homogénea, el campo escalar rompe la simetría de traslación. Esta idea ha sido usada en una variedad de contextos diferentes, por ejemplo, en la construcción de estrellas de bosones y otros solitones gravitacionales [12, 13] y en la construcción de agujeros negros rotacionales con pelo [14]. Cada uno de los escalares en la solución puede ser dualizado a $(D - 1)$ formas con densidad de campo constante. Ambas formulaciones han resultado muy útiles para construir agujeros negros planos con pelo en AdS, esto con diversos contenidos de materia, lo cual es de gran importancia en el contexto de la correspondencia AdS/CFT, y en particular, en las aplicaciones en materia condensada que de allí se pueden extraer [15, 16].

La entropía es dada por la ley del área, es decir

$$(12) \quad s = \frac{S}{V} = \frac{r_+^{d-2} \sigma}{4} = 4\pi r_+^{d-2} \sigma$$

donde σ es el volumen unitario de $\Omega_{d-2,y}$, V es el volumen de la direcciones extendidas y r_+ es la mayor raíz de la ecuación $0 = F(r_+) := -g_{tt}$. La temperatura T , puede ser obtenida como es usual desde el periodo del tiempo Euclideo que provee una sección regular para la continuación $t \rightarrow it$. Esto implica

$$(13) \quad T = \frac{f'(r_+)}{4\pi} = \frac{1}{4\pi} \left(\frac{(d-3)}{r_+} - \frac{2\Lambda}{d+p-2} r_+ \right)$$

Debido a que no hay carga asociada a los campos escalares libres en esta familia de soluciones, la masa M o la densidad de energía, $m = M/V$, puede ser directamente obtenida desde la primera ley de la mecánica de agujeros negros, es decir, $dm = Tds$. Así,

$$(14) \quad m = \sigma (d-2) r_+^{d-3} \left(1 - \frac{2\Lambda}{(d-1)(d+p-2)} r_+^2 \right)$$

Para finalizar mencionemos que las cuerdas negras sufren de la inestabilidad de Gregory-Laflamme [17], es decir, inestabilidad perturbativa de larga longitud de onda desencadenada por un modo que viaja a lo largo de las direcciones extendidas. Este tipo de inestabilidad va más allá de la relatividad general y aparece también en soluciones de cuerda negra en otras teorías, como teorías con curvatura alta [18–22]. Simulaciones numéricas muestran que en cinco dimensiones la mencionada inestabilidad lleva a la formación de singularidades desnudas [23, 24], mientras que argumentos termodinámicos indican que para dimensiones mayores que trece el estado final de la inestabilidad podría ser una cuerda negra inhomogénea [25]. Esto último ha sido recientemente confirmado en el límite en que el número de dimensiones tiende a infinito [26]. Parece ser que cuerdas negras pequeñas sufren de la inestabilidad de Gregory-Laflamme. La estabilidad de nuestras soluciones va más allá del contenido de este reporte y es sujeto de estudio. Esperamos reportar sobre este punto en futuras publicaciones.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Gaston Giribet por sus comentarios. El trabajo de A.C. es financiado por Proyecto FONDECYT No3150157 y Proyecto Interno Ucen I+D-2016, CIP2016. Apreciamos la hospitalidad y el soporte del Programa de Asociados del International Center for Theoretical Physics, ICTP, donde parte de este trabajo fue desarrollado.

* adolfo.cisterna@ucentral.cl
† julioolivazapata@gmail.com

BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. T. Horowitz, “Black holes in higher dimensions,” Cambridge University Press; 1 edition (May 28, 2012).
- [2] R. Emparan and H. S. Reall, *Phys. Rev. Lett.* 88, 101101 (2002) doi:10.1103/PhysRevLett.88.101101 [hep-th/0110260].
- [3] A. A. Pomeransky and R. A. Sen’kov, *hep-th/0612005*.
- [4] R. C. Myers and M. J. Perry, *Annals Phys.* 172, 304 (1986). doi:10.1016/0003-4916(86)90186-7
- [5] S. W. Hawking, *Commun. Math. Phys.* 25, 152 (1972). doi:10.1007/BF01877517
- [6] K. Copsey and G. T. Horowitz, *JHEP* 0606, 021 (2006) doi:10.1088/1126-6708/2006/06/021 [hep-th/0602003].
- [7] R. B. Mann, E. Radu and C. Stelea, *JHEP* 0609, 073 (2006) doi:10.1088/1126-6708/2006/09/073 [hep-th/0604205].
- [8] A. Bernamonti, M. M. Caldarelli, D. Klemm, R. Olea, C. Sieg and E. Zorzan, *JHEP* 0801, 061 (2008) doi:10.1088/1126-6708/2008/01/061 [arXiv:0708.2402 [hep-th]].
- [9] S. W. Hawking, C. J. Hunter and M. Taylor, *Phys. Rev. D* 59, 064005 (1999) doi:10.1103/PhysRevD.59.064005 [hep-th/9811056].
- [10] G. W. Gibbons, H. Lu, D. N. Page and C. N. Pope, *J. Geom. Phys.* 53, 49 (2005) doi: 10.1016/j.geomphys.2004.05.001 [hep-th/0404008].
- [11] G. W. Gibbons, H. Lu, D. N. Page and C. N. Pope, *Phys. Rev. Lett.* 93, 171102 (2004) doi:10.1103/PhysRevLett.93.171102 [hep-th/0409155].
- [12] S. L. Liebling and C. Palenzuela, *Living Rev. Rel.* 15, 6 (2012) doi:10.12942/lrr-2012-6 [arXiv:1202.5809 [gr-qc]].
- [13] F. Canfora and H. Maeda, *Phys. Rev. D* 87, no. 8, 084049 (2013) doi:10.1103/PhysRevD.87.084049
- [14] C. A. R. Herdeiro and E. Radu, *Phys. Rev. Lett.* 112, 221101 (2014) doi:10.1103/PhysRevLett.112.221101 [arXiv:1403.2757 [gr-qc]].
- [15] Y. Bardoux, M. M. Caldarelli and C. Charmousis, *JHEP* 1209, 008 (2012) doi:10.1007/JHEP09(2012)008 [arXiv:1205.4025 [hep-th]].
- [16] T. Andrade and B. Withers, *JHEP* 1405, 101 (2014) doi:10.1007/JHEP05(2014)101 [arXiv:1311.5157 [hep-th]].
- [17] R. Gregory and R. Laflamme, *Phys. Rev. Lett.* 70, 2837 (1993) doi:10.1103/PhysRevLett.70.2837 [hep-th/9301052].
- [18] Y. Brihaye, T. Delsate and E. Radu, *JHEP* 1007, 022 (2010) doi:10.1007/JHEP07(2010)022 [arXiv:1004.2164 [hep-th]].
- [19] Y. Brihaye, T. Delsate and E. Radu, *Phys. Lett. B* 662, 264 (2008) doi: 10.1016/j.physletb.2008.03.008 [arXiv:0710.4034 [hep-th]].
- [20] A. Giacomini, J. Oliva and A. Vera, *Phys. Rev. D* 91, no. 10, 104033 (2015) doi:10.1103/PhysRevD.91.104033 [arXiv:1503.03696 [hep-th]].
- [21] A. Giacomini, C. Henríquez-Bañez, M. Lagos, J. Oliva and A. Vera, *Phys. Rev. D* 93, no. 10, 104005 (2016) doi:10.1103/PhysRevD.93.104005 [arXiv:1603.02670 [hep-th]].
- [22] B. Chen, P. C. Li and C. Y. Zhang, *arXiv:1707.09766 [hep-th]*.
- [23] M. W. Choptuik, L. Lehner, I. Olabarrieta, R. Petryk, F. Pretorius and H. Villegas, *Phys. Rev. D* 68, 044001 (2003) doi:10.1103/PhysRevD.68.044001 [gr-qc/0304085].
- [24] L. Lehner and F. Pretorius, *Phys. Rev. Lett.* 105, 101102 (2010) doi:10.1103/PhysRevLett.105.101102 [arXiv:1006.5960 [hep-th]].
- [25] E. Sorkin, *Phys. Rev. Lett.* 93, 031601 (2004) doi:10.1103/PhysRevLett.93.031601 [hep-th/0402216].
- [26] R. Emparan, R. Suzuki and K. Tanabe, *Phys. Rev. Lett.* 115, no. 9, 091102 (2015) doi:10.1103/PhysRevLett.115.091102 [arXiv:1506.06772 [hep-th]].
- [27] J. M. Maldacena, *Int. J. Theor. Phys.* 38, 1113 (1999) [Adv. Theor. Math. Phys. 2, 231 (1998)] doi:10.1023/A:1026654312961 [hep-th/9711200].
- [28] E. Witten, *Adv. Theor. Math. Phys.* 2, 253 (1998) [hep-th/9802150].

NANOTUBOS MAGNÉTICOS

Juan Luis Palma, Departamento de Ciencias Básicas

(Del artículo original: "Temperature dependent magnetic properties of Ni nanotubes synthesized by atomic layer deposition", A. Pereira, J. L. Palma, J. C. Denardín, J. Escrig; Nanotechnology 27 (2016) 345709)

En este artículo se presenta la preparación, caracterización y estudio de las propiedades físicas de nanotubos de material magnético que están sintetizados dentro de una matriz porosa de alúmina (óxido de aluminio). La síntesis del arreglo de nanotubos se hace mediante la deposición de capas atómicas, que es un método de deposición química y gaseoso. Este método, debido a su naturaleza, deposita óxidos, por lo que, para obtener un nanotubo metálico, es necesario reducir la cantidad de oxígeno del material, y así transformar el óxido metálico en metal. Los nanotubos están sintetizados de un material magnético llamado Níquel (Ni), por lo que estas nanoestructuras se pueden considerar como nanoimanes con forma de tubo.



INTRODUCCIÓN

Las estructuras casi-unidimensionales se estudian debido a un interés de ciencia fundamental y de potencial tecnológico, y se presentó mayor interés después de que Iijima, en 1991, descubriera los nanotubos de carbón [1]. Recientemente, los nanotubos magnéticos han despertado interés en el ámbito de la “*espin-trónica*” (*spintronic*, *componentes electrónicos diseñados en nanoescala que funcionan en base al espín magnético y movimiento de las regiones magnetizadas*) en donde se espera que el movimiento de la pared que separa dos dominios magnéticos (regiones donde la magnetización cambia de sentido) ocurra a grandes velocidades [2-7]. En biotecnología, se necesitan nanoestructuras magnéticas con baja densidad que puedan flotar en las soluciones para aplicaciones InVivo [8]. Además, en separación celular, o entrega controlada de medicamentos mediante nanoencapsulación, los nanotubos magnéticos son buenos candidatos al ser fácilmente controlables mediante pequeños campos magnéticos.

A diferencia de los métodos de deposición electroquímicos [9-22], *La técnica de deposición de capas atómicas (ALD, del inglés: Atomic Layer Deposition)* permite un control preciso del espesor de la pared del tubo, debido a que se pueden depositar películas ultra delgadas mediante esta técnica [23-30]. Esta técnica consiste en depositar en una cámara de vacío un precursor en forma de vapor sobre la superficie, y una vez que la superficie está saturada de este precursor (de cierta forma podemos pensar esto como si estuviésemos empañando un vidrio, que al empaparse la superficie se satura de vapor de agua), se retira y se ingresa un segundo precursor, que reacciona con el primero y satura nuevamente la superficie. Esto es, un ciclo simple de ALD; si se repite este ciclo ené veces, se puede obtener un mayor espesor del material depositado. Para este estudio se depositaron 2000 ciclos de ALD y se obtuvieron nanotubos con un espesor de pared de 14 nanómetros.

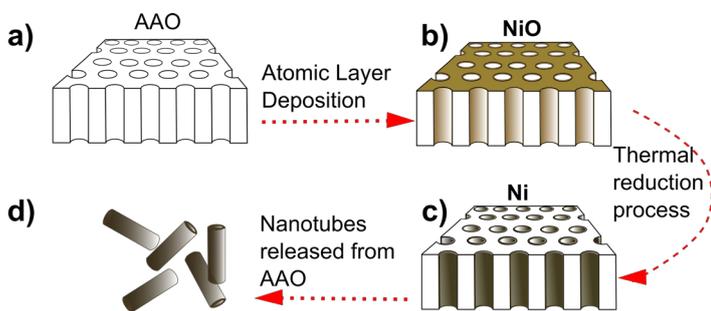


FIGURA 1

Esquema de los pasos a seguir en la síntesis de nanotubos. (a) Membrana de alúmina nanoporosa. (b) Depósito de óxido de Níquel (NiO) por medio de ALD. (c) Reducción de NiO para transformarlo en Ni. (d) La membrana de alúmina se disuelve y los nanotubos quedan libres, flotando en solución.

En este trabajo nos dedicamos a estudiar las propiedades magnéticas de nanotubos en función de la temperatura a la cual el nanotubo se encuentra. *Estudiamos la fuerza magnética que tiene el nanoimán con forma de tubo (conocida como campo coercitivo) y la facilidad de magnetización en una dirección preferencial (conocida como anisotropía)* [13-14,28].

RESULTADOS

La figura 2, muestra en (a) la vista macroscópica a ojo desnudo de una membrana de alúmina porosa antes de ser depositada (de color blanco), después de depositarle óxido de Níquel (de color amarillo) y después de reducir la cantidad de oxígeno del óxido de Níquel, transformándola en Níquel (de color negro). Este proceso de transformación de un óxido a un metal, se conoce como “proceso de reducción térmico” y se realiza bajo una atmósfera controlada compuesta por 4% de Hidrógeno y 96% de Argón. Este proceso de reducción (también conocido como dewetting) produce pequeños cristales de 7 nanómetros en el nanotubo, los cuales se pueden apreciar si se observa con cuidado la figura 1 (d), micrografía que fue obtenida por medio de un microscopio de transmisión de electrones (TEM, Transmission Electron Microscopy). Estos nanotubos se encuentran en un arreglo hexagonal impuesto por la geometría natural de los poros de la membrana de alúmina, lo cual se aprecia en la vista superior de esta membrana en la figura 1 (c), esta micrografía se tomó con un microscopio de barrido electrónico (SEM, Scanning Electron Microscopy). El diámetro externo de los nanotubos es de 105 nanómetros.

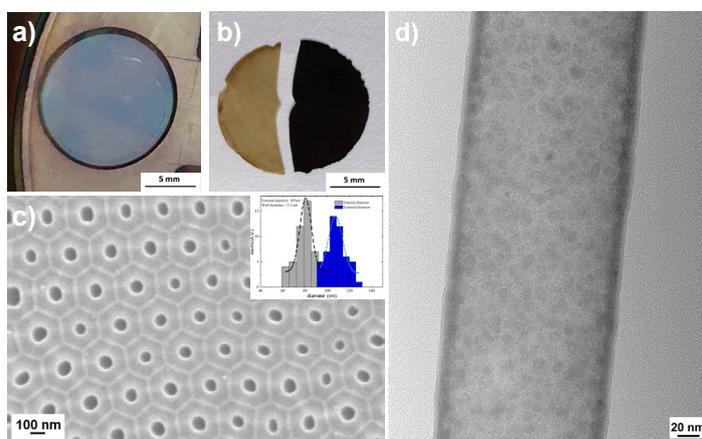


FIGURA 2

Muestra de nanotubos de Ni. (a) membrana de alúmina porosa. (b) media membrana con NiO y la otra media membrana con Ni. (c) micrografía SEM de la superficie de la membrana nanoporosa con los tubos de Ni. (d) Micrografía TEM de un nanotubo suelto, después de ser liberado de la membrana. Este nanotubo está compuesto por nanocristales de Ni de 7 nm.

En la figura 3 (a) y (c) se muestra una microscopía SEM de los nanotubos liberados de la membrana de alúmina los cuales son muy largos (de 25 micrómetros) y muy uniformes a lo largo del nanotubo. Se muestra además de la composición elemental (cantidad de elementos químicos presentes en la muestra) mostrada en la figura 3 (b).

Las mediciones magnéticas se hicieron en un magnetómetro de muestra vibrante (VSM, Vibrating Sample Magnetometer), en el cuál se aplicó un campo magnético a lo largo del eje principal del nanotubo, y se varió la temperatura desde 5K hasta 300K (*K corresponde a Kelvin, y es una medida de la temperatura que tiene correspondencia lineal con los grados Celsius que comúnmente utilizamos, donde cero K, es el cero absoluto de temperatura, no existe temperatura más baja que esto, y corresponden a -273.15°C*).

Además, se realizaron curvas del tipo FC-ZFC (Field Cooling, Zero Field Cooling), las cuales se refieren a enfriar la muestra con y sin campo aplicado y se mide cómo varía la magnetización en la muestra a medida que se cambia la temperatura. El comportamiento que se encuentra de este tipo de curva se muestra en la figura 5 (a). Además de las mediciones de la magnetización que se muestran en la figura 4 a distintas temperaturas, se puede obtener la dependencia de la coercividad y de la magnetización remanente en función de la temperatura, las cuales se muestran en la figura 5 (b) y (c). Se observa de esta figura que la muestra tiene mayor coercividad y magnetización

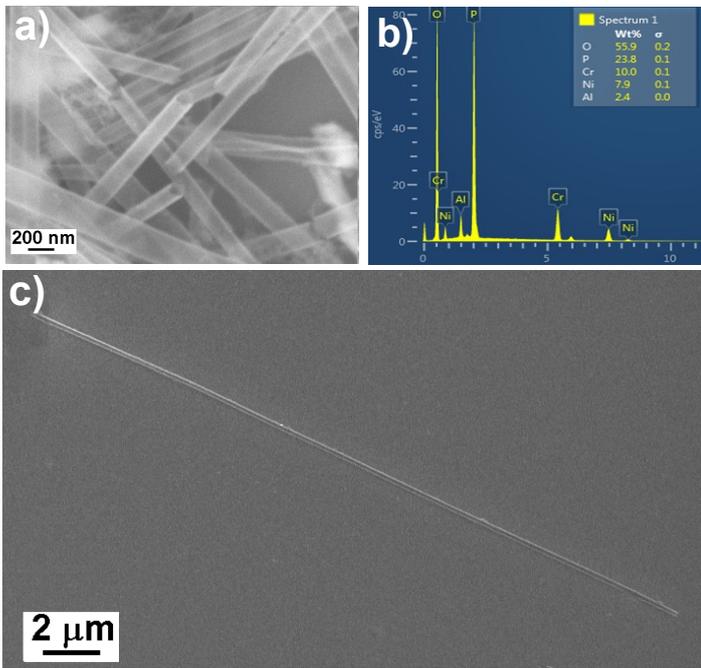


FIGURA 3

(a) Nanotubos de Ni liberados de la membrana nanoporosa. (b) Análisis elemental de la muestra en A. (c) Un nanotubo aislado, de largo 25 micrometros.

remanente a menor temperatura. Es decir, en algún punto, al momento de descender la temperatura la muestra adquiere una anisotropía magnética, una dirección preferencial de magnetización. A este punto en la temperatura se le llama, Temperatura de bloqueo, TB, que en este tipo de muestras es de 44 K. Esta temperatura está relacionada con el tamaño de los pequeños granos de los que se compone el nanotubo, los que están en la figura 2 (d). Además, el punto en el que se separan las curvas FC-ZFC es cercano a los 110K, el cuál es un comportamiento típico para grandes distribuciones de tamaño. Esto implica que después de la reducción térmica las paredes del nanotubo están formadas por nanopartículas de Níquel superparamagnéticas con temperatura de bloqueo de 44K.

Superparamagnetismo: el superparamagnetismo, no es fácil de entender a buenas y a primeras, pero se puede ver como un balance entre la energía de anisotropía (kv) y la energía térmica (KBT) para la cual la magnetización se mantiene durante un tiempo en la nanopartícula. Por ejemplo, a temperatura ambiente (25°C), para una partícula de 100nm de diámetro (que comúnmente se usan en los discos duros desde el 2011) la magnetización perdurará 10 años, es decir, la información perdurará 10 años.

El superparamagnetismo presente en la muestra, evita que los nanotubos se atraigan magnéticamente entre sí, y así se evita que se aglomeren. Esto es muy útil para aplicaciones de encapsulamiento y entrega controlada de fármacos (drug delivery).

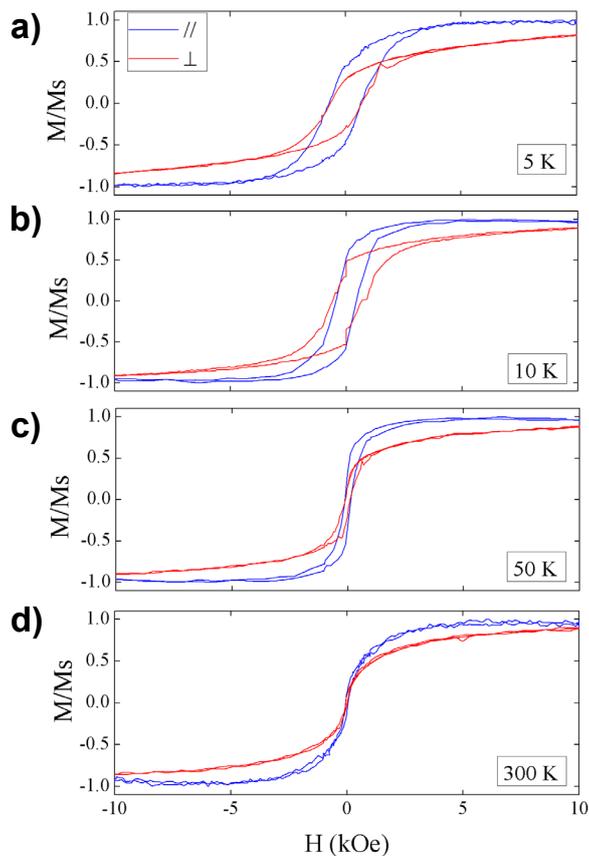


FIGURA 4

Medición de la magnetización para la muestra de nanotubos de Ni, a diferentes temperaturas, y con el campo magnético externo aplicado en el eje principal de la muestra (curva azul) y perpendicular al eje principal de la muestra (curva roja)

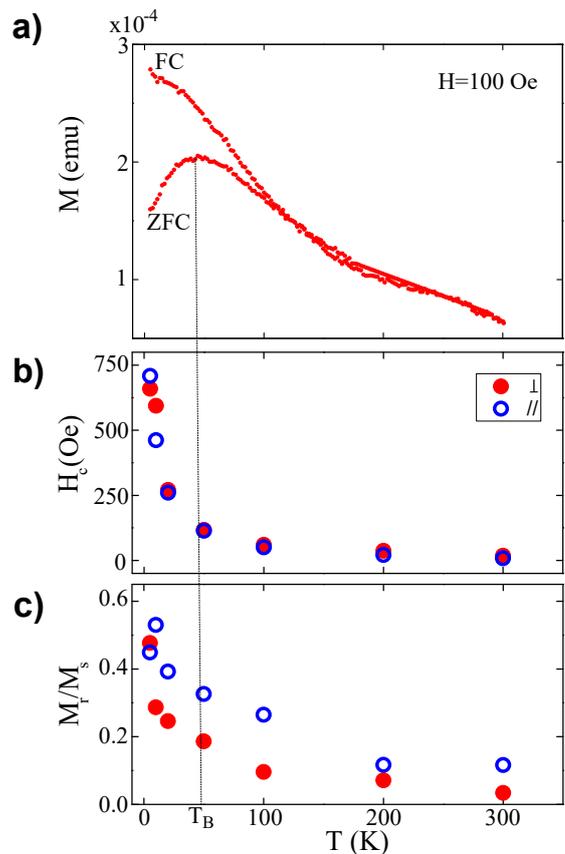


FIGURA 5

(a) Curva FC-ZFC de la muestra de nanotubos de Ni. (b) y (c) muestran la coercividad y la remanencia en función de la temperatura. La temperatura de bloqueo de la muestra es de 44k.

CÁLCULOS ANALÍTICOS

Si se ajusta el comportamiento experimental de la coercividad con los cálculos analíticos, entonces es posible estimar el valor de la densidad de energía de anisotropía, K , para el arreglo de nanotubos de Ni en el rango de temperaturas medidas [33].

Cuando se aplica campo magnético externo, con dirección a lo largo del eje principal del nanotubo, la magnetización del nanotubo apuntará en una dirección y si se invierte la dirección de ese campo externo entonces la magnetización del nanotubo apunta en la otra dirección opuesta, y aquí es cuando ocurre un proceso de inversión de la magnetización. Este proceso puede ocurrir por medio de tres mecanismos, coherente (que todos los momentos magnéticos de los átomos que componen el nanotubo apuntan al mismo tiempo en la dirección del campo externo aplicado), vórtice (que es una configuración de los espines que tiene la forma de un remolino y este cambio se transmite en dirección del eje principal del nanotubo) y modo transversal (que los momentos magnéticos apuntan perpendicular al eje principal del nanotubo y este cambio se transmite por el eje principal del nanotubo) [25, 34-38].

Si el diámetro del nanotubo es mayor a 50 nanómetros, se espera que la reversión de la magnetización ocurra mediante la nucleación y la propagación de una pared de dominio del tipo vórtice [34]. El campo de nucleación en nanotubos con anisotropía uniaxial viene dado por [38, 39];

$$(1) \quad H_n^V(\theta) \cos(\theta - \omega) = (N_x(l) \sin(\omega)^2 + N_z(l) \cos(\omega)^2 - c - d[3 \cos(\omega)^2 - 1])M_0$$

$$(2) \quad H_n^V(\theta) \sin(\theta - \omega) = \left([N_x(l) - N_z(l) + d] \frac{\sin(2\omega)}{2} \right) M_0$$

Donde,

$$(3) \quad c = q^2 L_{ex}^2 / R^2$$

Además,

$$(4) \quad d = K / \mu_0 M_0^2$$

Y de la ecuación (3), el factor q debe satisfacer la siguiente ecuación compuesta por las funciones de Bessel de primer ($J_1(Z)$) y segundo ($Y_1(Z)$) tipo;

$$(5) \quad \frac{qJ_0(q) - J_1(q)}{qY_0(q) - Y_1(q)} - \frac{\eta qJ_0(q) - J_1(q)}{\eta qY_0(q) - Y_1(q)} = 0$$

El factor mostrado en (3) también depende de una cantidad muy importante en magnetismo, conocida como el "largo de intercambio". Una red compuesta por dos momentos magnéticos, tiene, entre otras, dos interacciones principales; la interacción dipolar entre momentos magnéticos (que afecta a toda la red al mismo tiempo, por esto se le llama interacción de largo alcance) y una interacción de intercambio, que es una interacción que tiene el momento magnético con sus vecinos más próximos, es por esto que esta interacción se le llama de corto alcance. Pero, ¿Qué tan largo o corto es el alcance de esta interacción de intercambio?; Bueno, eso queda determinado por L_{ex}

$$(6) \quad L_{ex} = \sqrt{2A / \mu_0 M_0^2}$$

y es del orden de 2 a 15 nanómetros, dependiendo de las constantes del material como A (rigidez de la red) y M_s (magnetización de saturación, así como constantes universales, la permeabilidad del vacío. Esta constante dice que tan permeable es el vacío a los campos, tal como el caso contrario de un impermeable al agua, si gusta pensarlo así.

Entonces el campo de nucleación de la pared del tipo vórtice, depende de todos estos factores, además del factor desmagnetizante en la dirección x y z ($N_x(l)$, $N_z(l)$), el cual es un número que da cuenta de que tan fácil es desmagnetizar la muestra en una dirección específica. De aquí se puede concluir, lo importante que la geometría (largo (l) y radio (R), o la forma de una nanopartícula. El espesor de la pared del tubo, lo determina el factor e . El ángulo θ determina la dirección del campo aplicado, y el ángulo ω determina el ángulo de la nucleación con respecto al eje principal del nanotubo [39]. La ecuación (2) admite infinitas soluciones, por lo que consideramos solo la que tiene menor valor de campo de nucleación ($\theta=0$). Tal como Aharoni menciona [39], para un sistema aislado, el salto en la magnetización ocurre en o cerca del campo de nucleación del tipo vórtice. Para los cálculos analíticos se utilizó un largo del nanotubo de 25 micrómetros, con diámetro de 105 nanómetros, y espesor de pared del tubo de 14 nanómetros. Además de una magnetización de saturación $M_s=4.8 \times 10^5 (\text{Am}^{-1})$, una constante de rigidez de $A=10^{-11} (\text{Jm}^{-1})$. La anisotropía se dejó como una variable para ajustar los datos experimentales.

De esta manera, en la figura (6) se muestra los valores ajustados para la constante de anisotropía, K , con los valores experimentales. Donde los valores positivos de la anisotropía, denotan una magnetización a lo largo del eje principal del nanotubo, y los valores negativos de la anisotropía, denotan una magnetización en el plano circular de la sección transversal del nanotubo. De la figura (6) se observa una transición del eje de magnetización cercana a 23K. Es decir, de la figura (5) se observa que a menores temperaturas la coercividad cuando el campo se aplica paralelo a los nanotubos es mayor que cuando el campo se aplica perpendicular al eje principal de los nanotubos. Para temperaturas mayores, se tiene el efecto contrario. Entonces el modelo teórico no solo describe muy bien el efecto de la magnetización en nanotubos, si no que también es capaz de cuantificar la anisotropía efectiva de los nanotubos.

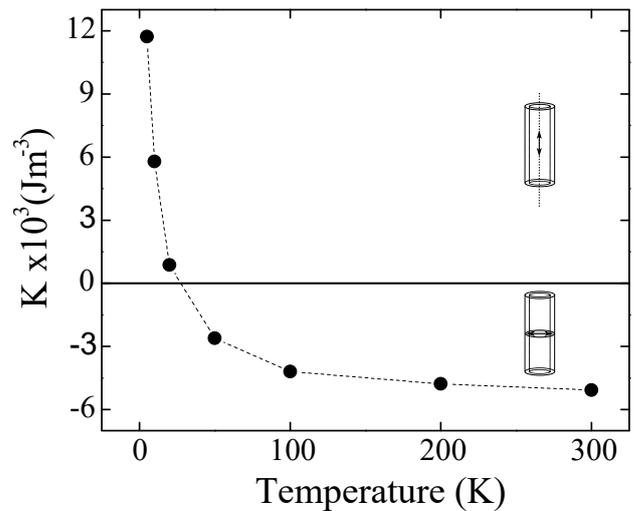


FIGURA 6

Comportamiento de la constante de anisotropía efectiva en función de la temperatura.

CONCLUSIONES

Podemos entonces concluir, que es posible sintetizar nanotubos de NiO y transformarlos a Ni. Estos se pueden tener ordenados hexagonalmente en una matriz de alúmina, o sueltos en una solución. Se puede utilizar la técnica de ALD, para construir tubos bastante largos (25 micrometros) con espesores de pared muy delgados (14 nm) y radios del orden de los 105 nm. Al reducir la cantidad de oxígeno en el NiO, este se transforma en Ni, por medio de la fonación de nanocristales de 7nm. Al medir las propiedades magnéticas, se encuentra una temperatura de bloqueo de 44K, lo cual está directamente relacionada con el tamaño de los nanocristales. Por medio de cálculos analíticos, es posible describir el comportamiento magnético de este tipo de muestras, y encontrar cómo se comportan las orientaciones preferentes de la magnetización dependiendo de la temperatura a la que se encuentre la muestra.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Iijima S 1991 *Nature* 354 56
- [2] Yan M, Kakay A, Gliga S and Hertel R 2010 *Phys. Rev. Lett.* 104 057201
- [3] Landeros P and Nuñez A S 2010 *J. Appl. Phys.* 108 033917
- [4] Yan M, Andreas C, Kakay A, García-Sánchez F and Hertel R 2011 *Appl. Phys. Lett.* 99 122505
- [5] Otalora J A, López-López J A, Núñez A S and Landeros P 2012 *J. Phys. Condens. Matter* 24 436007
- [6] Espejo A P, Vidal-Silva N, López-López J A, Goerlitz D, Nielsch K and Escrig J 2015 *Appl. Phys. Lett.* 106 132405
- [7] Yan M, Kakay A, Andreas C and Hertel R 2012 *Phys. Rev. B* 88 220412
- [8] Eisenstein M 2005 *Nat. Methods* 2 484
- [9] Cao H, Wang L, Qiu Y, Wu Q, Wang G, Zhang L and Liu X 2006 *Chem. Eur. J. of Chem. Phys.* 7 1500-4
- [10] Wang X W, Yuan Z H, Sun S Q, Duan Y Q and Bie L J 2008 *Mater. Chem. Phys.* 112 329-32
- [11] Li X, Wang Y, Song G, Peng Z, Yu Y, She X and Li J 2009 *Nanoscale Res. Lett.* 4 1015-20
- [12] Li X et al 2010 *J. Phys. Chem. C* 114 6914-6
- [13] Ahmad N, Chen J Y, Zhou W P, Liu D P and Han X F 2011 *J. Supercond. Nov. Magn.* 24 785-92
- [14] Chen J Y, Ahmad N, Shi D W, Zhou W P and Han X F 2011 *J. Appl. Phys.* 110 073912
- [15] Wang X W, Yuan Z H and Fang B C 2011 *Mater. Chem. Phys.* 125 1-4
- [16] Proenca M P, Sousa C T, Ventura J, Araujo J P, Escrig J and Vázquez M 2012 *Spin* 2 1250014
- [17] Li Y L, Tang S L, Xie R, Wang Y, Yang M, Gao J L, Xia W B and Du Y W 2012 *Appl. Phys. Lett.* 100 052402
- [18] Sharif R, Shamaila S, Shaheen F, Chen J Y, Khaleeq-ur-Rahman M and Hussain K 2013 *Appl. Phys. Lett.* 102 013114
- [19] Dar F I, Moonoswamy K R and Es-Souni M 2013 *Nanoscale Res. Lett.* 8 363
- [20] Li X, Z. Wu K, L. Ye Y and Wei X-W 2014 *Cryst. Eng. Comm* 16 4406-13
- [21] Chen Y H, Duan J L, Yao H J, Mo D, Liu T Q, Wang T S, Hou M D, Sun Y M and Liu J 2014 *Physica B* 441 1-4
- [22] Li X, Li P, Song G, Peng Z, Feng S and Zhou C 2014 *Material Letters* 122 58-61
- [23] Miikkulainen V, Leskela M, Ritala M and Puurunen R L 2013 *J. Appl. Phys.* 113 021301
- [24] Daub M, Knez M, Gosele U and Nielsch K 2007 *J. Appl. Phys.* 101 09J111
- [25] Escrig J, Daub M, Landeros P, Nielsch K and Altbir D 2007 *Nanotechnology* 18 445706
- [26] Daub M, Bachmann J, Jing J, Knez M, Gosele U, Barth S, Mathur S, Escrig J, Altbir D and Nielsch K 2007 *ECS Transactions* 11 139-48
- [27] Weber D P et al 2012 *Nano Lett.* 2 6139-44
- [28] Ruffer D et al 2014 *APL Materials* 2 076112
- [29] Pitzschel K, Montero Moreno J M, Escrig J, Albrecht O, Nielsch K and Bachmann J 2009 *ACS Nano* 3 3463-8
- [30] Elam J W, Routkevitch D, Mardilovich P P and George S M 2003 *Chem. Mater.* 15 3507-17
- [31] L'vov B V and Galwey A K 2012 *J. Therm. Anal. Calorim.* 110 601-10
- [32] Chong Y T, Eric Yau M Y, Yang Y, Zacharias M, Goerlitz D, Nielsch K and Bachmann J 2011 *J. Appl. Phys.* 110 043930
- [33] Bran C, Espejo A P, Palmero E M, Escrig J and Vázquez M 2015 *J. Magn. Magn. Mater.* 396 327-32
- [34] Landeros P, Allende S, Escrig J, Salcedo E and Altbir D 2007 *Appl. Phys. Lett.* 90 102501
- [35] Allende S, Escrig J, Altbir D, Salcedo E and Bahiana M 2008 *Eur. Phys. J. B* 66 37-40
- [36] Escrig J, Bachmann J, Jing J, Daub M, Altbir D and Nielsch K 2008 *Phys. Rev. B* 77 214421
- [37] Bachmann J, Escrig J, Pitzschel K, Montero Moreno J M, Jing J, Gorklitz D, Altbir D and Nielsch K 2009 *J. Appl. Phys.* 105 07B521
- [38] Albrecht O, Zierold R, Allende S, Escrig J, Patzig C, Rauschenbach B, Nielsch K and Gorklitz D 2011 *J. Appl. Phys.* 109 093910
- [39] Aharoni A 1997 *J. Appl. Phys.* 82 1281
- [40] Chang C-R, Lee C M and Yang J-S 1994 *Phys. Rev. B* 50 6461

Legado 2017 para la Facultad de Ingeniería: LABORATORIOS DE INVESTIGACIÓN

Los espacios para experimentación en ingeniería, cuentan con la remodelación y construcción de más de 800 m² que permitirán potenciar la formación de los estudiantes de la facultad y también fomentar el desarrollo investigativo de nuestros académicos. Los laboratorios, poseen estándares de alto nivel en minerología, microscopía, ingeniería sanitaria, química y materiales. Además de estar equipados con tecnología de punta.

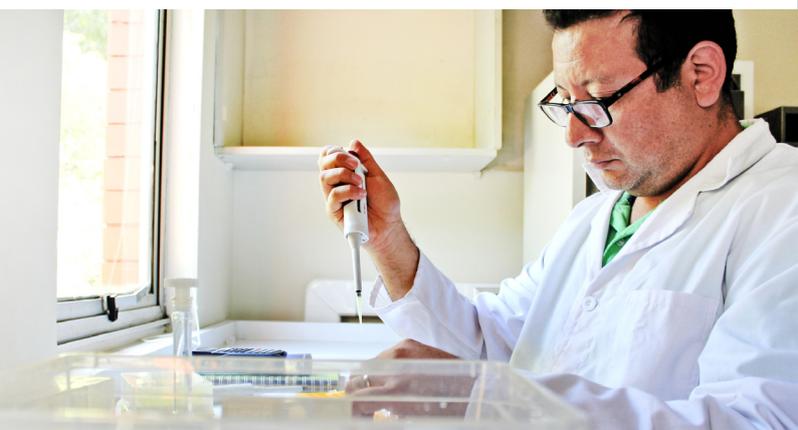


LABORATORIO DE NANOSÍNTESIS

En este laboratorio se realizan la síntesis de nanopartículas, nanoalambres y nanoestructuras planas por medio de litografía. El trabajo experimental es dirigido por el Dr. Juan Luis Palma, quién es el responsable de un proyecto fondecyt sobre la síntesis de nanoestructuras magnéticas con geometrías complejas.

LABORATORIO DE CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS (LABCIAL)

Lugar a cargo de la Dra. Loreto Muñoz, el cual ha servido para la conducción de investigaciones como la de 'Polos Territoriales: desarrollo de ingredientes funcionales y aditivos especializados para la valorización de la pequeña y mediana agricultura de secano'. Proyecto orientado al estudio de leguminosas y cereales (lentejas, porotos, garbanzos, alforfón y avena) para la obtención de ingredientes funcionales y aditivos especializados.



LABORATORIO DE ENERGÍA Y AGUAS

Aquí, el Dr. Sergio Cárdenas, académico e investigador dirige varios estudios experimentales, uno de ellos en torno a la medición de la eficiencia de gases obtenidos a través de procesos de biodigestión simulada. El objetivo es determinar de manera segmentada cuales gases resultan más eficientes que otros como alternativa energética.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN DE ARDUINOS Y MONITOREO AMBIENTAL

En este espacio, el Dr. Nelson Sepúlveda está a cargo de la experimentación en cuanto a desarrollo y programación de arduinos capaces de determinar mediciones de aspectos medioambientales como el CO₂ o como, por ejemplo, la que sirvió de bases para el desarrollo del proyecto de Vinculación con el Medio de 'Estaciones de Monitoreo UV con Colegios de la Región Metropolitana'.







REOLOGÍA DE SISTEMA GRANULAR BIDIMENSIONAL SOMETIDO A CIZALLE



Nelson Sepulveda, Escuela de Ciencias Básicas

Francisco Melo, Departamento de Física, Usach

Francisco Vivanco, Departamento de Física, Usach

INTRODUCCIÓN

Los medios granulares, son de amplio interés en varias áreas de la ingeniería, como también por su versatilidad en distintas aplicaciones industriales; sean estas de origen minero, farmacéutico, o agricultura. Por ello es que presta un particular interés el entender el comportamiento reológico de estos sistemas [1,2]. Una de las características principales de los sistemas granulares es su capacidad de comportarse como sólido, y la vez poder fluir como gas o líquido dependiendo de la energía inyectada en el sistema [3,4]. Este comportamiento permite encontrarlo en el polvo en suspensión en ciudades, en eventos como alud o terremotos, y el parámetro físico fundamental es la fricción entre los granos, lo cual es afectado por el tamaño, y forma que posean las partículas.

Los medios granulares están influenciados fuertemente por el tipo de distribución que poseen las partículas al interior del medio, al aplicar esfuerzos a sistemas de baja densidad, los granos tienden a llenar esas vacancias, el observable macroscópico es la compactación global del medio. Pero al contrario si los sistemas son densos con baja cantidad de vacancias, al aplicar el esfuerzo el sistema tiende a dilatarse, fenómeno observado por Reynolds en 1885 [5]. Este fenómeno es típico al caminar por arenas cerca del mar, donde al pisar se seca el arena alrededor del pie, esto debido a la dilatación que experimenta el arena macroscópicamente, y provoca que el agua penetre en los nuevos espacios al interior del medio. Al producirse el esfuerzo de cizalle, a nivel microscópico, el hecho que un grano pueda deslizarse o trepar sobre otra depende de las fuerzas de fricción presente entre los granos.

Si se consideran dos partículas en contacto en el plano, y una de ellas sometidas a una fuerza normal f_n y a una fuerza tangencial f_t respecto de un sistema de coordenadas (ver Figura 1), aparecerán las fuerzas tangencial T y normal N que se oponen al movimiento de la partícula superior.

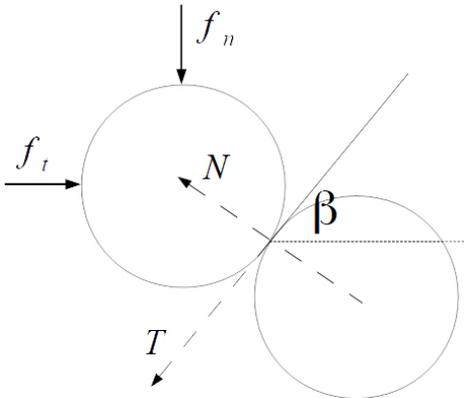


FIGURA 1

Caption: Balance de fuerzas entre partículas, bajo esfuerzos microscópicos

Al realizar la equivalencia de las fuerzas según el sistema de referencia del esquema planteado, se obtiene:

$$f_t \cos \beta - f_n \sin \beta - T = 0$$

$$-f_t \sin \beta - f_n \cos \beta + N = 0$$

Pero considerando el parámetro de fricción entre los granos, entonces es posible plantear que $T/N = \sin \phi / \cos \phi = \tan \phi$, y reemplazando en la ecuación anterior, entonces:

$$\frac{\sin \phi}{\cos \phi} = \frac{f_t \cos \beta - f_n \sin \beta}{f_t \sin \beta + f_n \cos \beta}$$

Lo cual, si se expresa en términos de las fuerzas tangencial f_t y normal f_n , de manera macroscópica respecto a la partícula superior, es posible escribir:

$$\frac{f_t}{f_n} = \frac{\sin(\phi + \beta)}{\cos(\phi + \beta)} = \tan(\phi + \beta)$$

Entonces queda expresada las fuerzas tangenciales y normales, de manera macroscópica respecto a la partícula superior [6].

Este tipo de interacción entre partículas puede generarse a partir de esfuerzos de cizalle en un sistema, por cizalle entendemos un esfuerzo que provoca desplazamientos en sentidos opuestos en el medio (ver Figura 3).

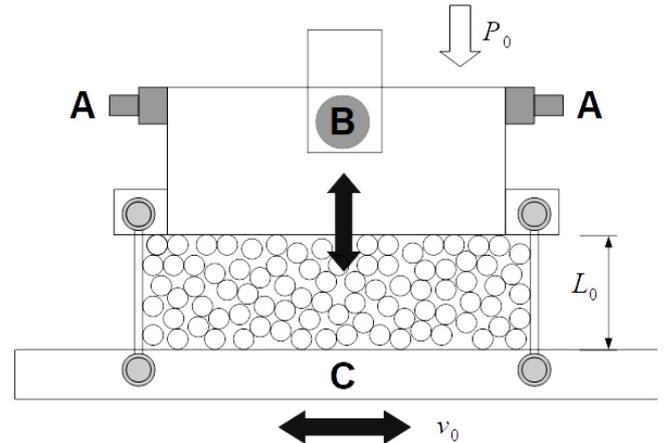


FIGURA 3

Esquema de la celda bidimensional de deformación controlada. A) rodamientos de aire laterales, B) rodamiento de aire bajo placa, C) Placa inferior con motor de paso que permite deformación en ambos sentidos.

MATERIALES Y METODOS

Montaje Experimental

El montaje experimental consiste de dos placas paralelas que se encuentran pivotadas en sus caras laterales, con ello fue posible realizar el cizalle a velocidad controlada por un motor de paso, (ver Figura 1.2), sector C. Las dimensiones de la celda son de 50 cm de largo y altura variable entre 4 y 6 cm, a las paredes paralelas se les adhirieron mitades de partículas circulares de distintos diámetros. Para minimizar la fricción en las superficies móviles se utilizaron rodamientos de aire (sectores A), y sobre la placa superior se aplicó una carga constante de 7 N. Con la misma finalidad se ubicó un rodamiento de aire bajo la placa en el sector B.

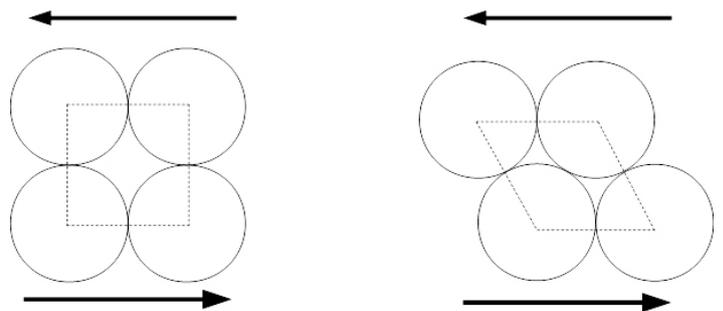


FIGURA 1.2

Cizalle sobre una capa de granos, producido por fuerzas en igual dirección pero de sentido contrario.

El movimiento de la placa horizontal, se realizó a velocidad constante v_0 entre 0.1 y 4.8 mm/s controlada por LabVIEW a través de la tarjeta NI PCI-7350 de National Instruments, este sistema permitió medir simultáneamente dilatación y fuerza de cizalle, dilatación por medio de un sensor inductivo y cizalle por medio de un sensor de la deflexión de dos placas de acero paralelas ubicadas en el extremo la barra móvil. El sistema se deflectó hasta que los brazos alcanzaron un ángulo de 45° respecto a la horizontal, y cada deflexión se realizó 30 veces. El medio granular se compuso de 300 partículas cilíndricas, pentagonales y hexagonales de 8 mm de diámetro circunscrito.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Registros típicos obtenidos de la dilatación experimentada para velocidad de $v_0=0.1$ mm/s, como del cizalle para los tres tipos de partículas es posible observar en la Figura 4, entre las cuales, una de las curvas que destaca es la dilatación experimentada con partículas hexagonales en la ventana central **b**, mientras que para las partículas circulares (**a**), y partículas pentagonales (**c**), las amplitudes corresponden a pequeñas fracciones del tamaño de un grano. También es posible observar altas fluctuaciones en las curvas de fuerza y mayoritariamente en los granos pentagonales. Mientras tanto para los granos hexagonales estas fluctuaciones se producen con menos frecuencia.

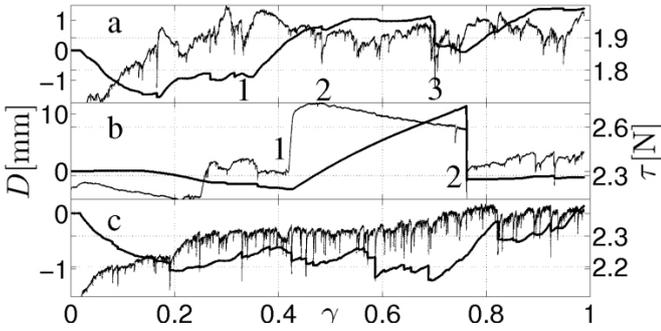


FIGURA 4

Grafo típico de curvas de cizalle y dilatación para partículas a) cilíndricas, b) hexagonales y c) pentagonales. Curvas realizadas para 300 granos a 0.1mm/s.

Las amplias curvas de dilatación observadas en partículas hexagonales, se producen por la nucleación característica debido a las facetas en este tipo de partículas. Una gran cadena estable es capaz de soportar todo el peso de la placa superior, (ver Figura 5). Para explicar el mecanismo de formación de la cadena, y las curvas obtenidas es posible identificar algunos parámetros para un modelo de pivote rígido. Si se considera una distancia inicial fija x' desde el punto de nucleación al eje vertical donde el pivote se levanta (ver Figura 6), se puede plantear que el ángulo respecto a la vertical cambia de θ_0 a θ' que varía a medida que la base se desplaza. La distancia al punto de apoyo puede ser escrita como:

$$x' - vt = L \sin \theta'$$

Si x' es la distancia variable en el eje horizontal, x' será la distancia variable en el eje vertical, luego se tiene $x' = L \sin \theta_0$ y $y' = L \cos \theta_0$. La diferencia en la distancia vertical Δy se puede escribir como:

$$\Delta y = L \cos \theta' - L \cos \theta_0$$

Entonces, reemplazando las ecuaciones:

$$(L \sin \theta_0 - vt)^2 + (L \cos \theta_0 + \Delta y)^2 = L^2$$

Y sustituyendo Δy por D se obtiene una expresión para la dilatación:

$$\Delta y = D = \sqrt{L^2 - (L \sin \theta_0 - vt)^2} - L \cos \theta_0$$

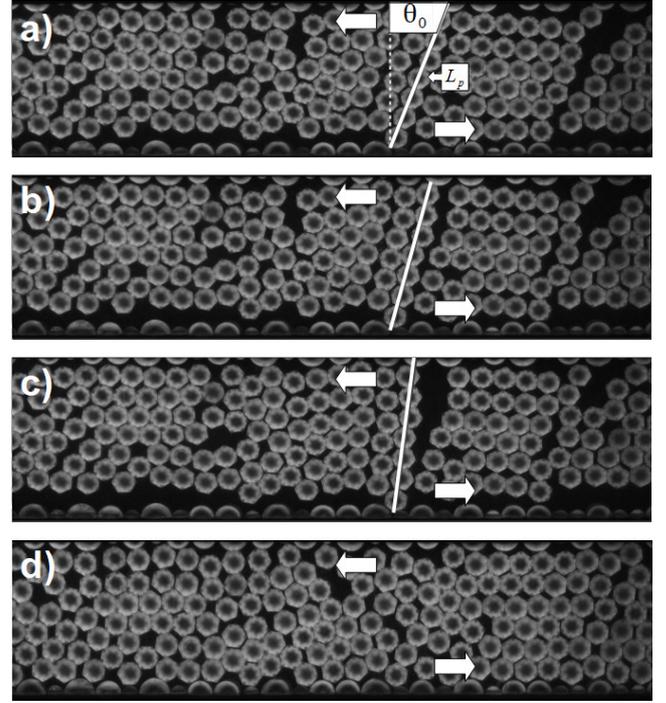


FIGURA 5

Mecanismo de nucleación en cadenas hexagonales. a) rotación, b) crecimiento, c) colapso y d) desplazamiento.

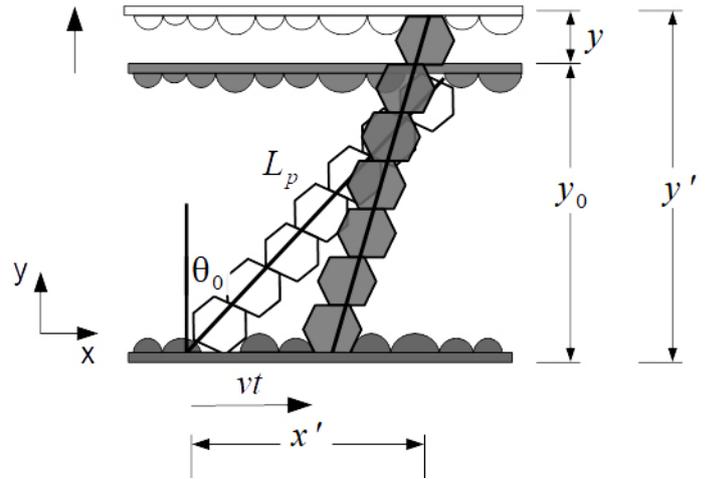


FIGURA 6

Esquema del modelo de pivote para granos hexagonales.

Para un elemento similar en el modelo de pivote rígido, en el caso de las fuerzas necesariamente se deben considerar los torques actuando sobre la cadena principal, y la reacción normal N , como muestra la Figura 7. Los torques se pueden escribir como:

$$\vec{r} \times \vec{P} = -PL \cos \theta_0$$

$$\vec{r} \times \vec{\tau}_r = +\tau L \cos \theta_0$$

Y en base al equilibrio estático, la suma de los torques se debe anular con lo cual $PL \sin \theta' = \tau L \cos \theta'$, entonces $\tan \theta' = \tau/P$. En base a la observación de la figura 6, se obtiene:

$$\tan \theta' = \frac{x'}{y'} = \frac{x_0 - vt}{y'}$$

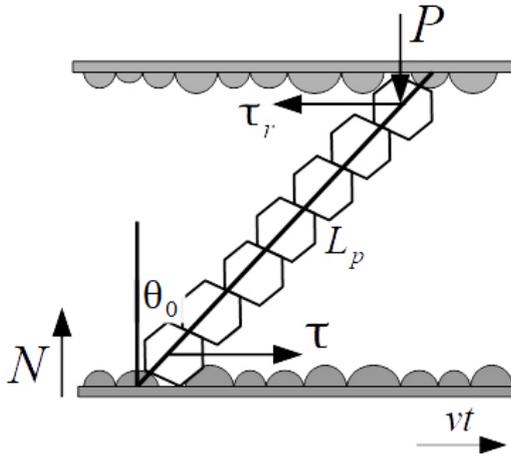


FIGURA 7

Esquema de las fuerzas que actúan sobre el pivote rígido, donde se observan fuerzas P y N en el sentido de los ejes principales, y en sentidos contrarios las fuerzas de cizalle.

Pero como se obtuvo previamente $y' = y_0 + \Delta y = L \cos \theta_0 + \Delta y$, y reemplazando en la ecuación anterior:

$$\tan \theta' = \frac{L \sin \theta_0 - vt}{\sqrt{L^2 - (L \sin \theta_0 - vt)^2}}$$

Y finalmente es posible obtener una expresión adimensional en término de las fuerzas de cizalle τ y normal N , ambas conocidas:

$$\frac{\tau}{N} = \frac{L \sin \theta_0 - vt}{\sqrt{L^2 - (L \sin \theta_0 - vt)^2}}$$

El ajuste a una serie de datos, con el modelo de pivote para partículas hexagonales se observa en la Figura 8. Se debe destacar que el mecanismo de relajación de esfuerzos por deslizamiento de planos adyacentes, no se observa en el caso de este tipo de granos, debido a que las facetas propias de la geometría hexagonal de los granos impiden el deslizamiento de planos adyacentes.

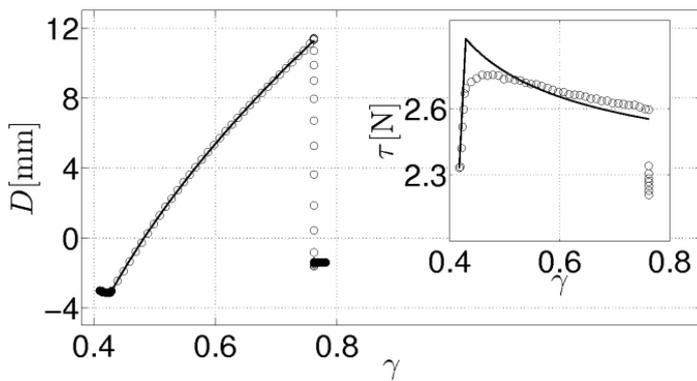


FIGURA 8

Ajuste al modelo de pivote para dilatación D , y fuerza de cizalle τ para partículas hexagonales, con velocidad de deformación 0.1 mm/s y fuerzas normales de $7N$.

CONCLUSIONES

En el caso de partículas pentagonales, los datos permiten observar que la forma particular de este tipo de grano impide la formación de estructuras de largo alcance, de debido al reordenamiento permanente de los pentágonos, lo cual se traduce en la imposibilidad de formar estructuras cristalinas. En las curvas de dilatación como de cizalle, se traduce en altas fluctuaciones, con alta intermitencia de eventos.

En el caso de partículas cilíndricas, las fluctuaciones rápidas de baja amplitud, las cuales se observan en las curvas de fuerza son la respuesta a pequeños cambios, que se producen en la red de contacto al interior del sistema.

En el caso de las partículas hexagonales, debido a su particular geometría son capaces de dilatar hasta alturas críticas el sistema, esto se da para el caso de cadenas compuestas por cerca de 8 partículas. Uno de los factores fundamentales en la amplitud de la dilatación, lo juegan las facetas y en el caso particular de hexágonos debido a su alta capacidad de nucleación. La compactación fluctúa similar a un oscilador stick-slip, Un colapso sincronizado ocurre como una consecuencia del colapso de pivotes rígidos debido al efecto de buckling [7].

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Laboratorio de Física No Lineal, del departamento de Física de la Universidad de Santiago de Chile, donde fue posible realizar los experimentos. A MECESUP beca de Doctorado (2008), y a la comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnología (CONICYT) mediante la Beca para Estudios de Doctorado en Chile, Año académico 2009 (GRANT N° D-21090840).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. M. Nedderman, *Statics and Kinematics of Granular Materials* (Cambridge University Press, New York, 1992)
- [2] M. Oda and K. Iwashita (Eds.), *Mechanics of Granular Materials: an Introduction* (Balkema, Rotterdam, 1999)
- [3] J. Duran, *Sands, Powders and Grains* (Springer, New York, 2000)
- [4] S. J. Anthony, W. Hoyle and Y. Ding (Eds.), *Granular Materials Fundamentals and Applications Chapter 6*, pp. 157 - 183, The Royal Society of Chemistry, (2004)
- [5] O. Reynolds, *On the Dilatancy of Media Composed of Rigid Particles in Contact*, with *Experimental illustrations*, *Phil. Mag.*, S. 5., Vol. 20, No 127. (1885)
- [6] N. Sepúlveda. (2015). *Eventos Plásticos en un Sistema Granular Bidimensional* (Tesis Doctoral). Universidad de Santiago de Chile. Chile.
- [7] N. Sepúlveda et al. *Effects of grain shape on the response of a two-dimensional granular material under constant shear rate*, *Physical Rev. E*, Vol 90, 052202. (2014).



Magíster

- Ingeniería Industrial (Santiago y La Serena)
- Innovación
- Análisis de Datos para la Inteligencia de Negocios
- Tecnología de la Información, Comunicación y Automatización
- Dirección y Gestión de Proyectos Informáticos
- Gestión de Proyectos de Construcción

Programas de Prosecución de Estudios

- Ingeniería Civil Industrial (con y sin nivelación)
- Ingeniería Civil en Obras Civiles
- Ingeniería en Construcción



4 AÑOS ACREDITADA
GESTIÓN INSTITUCIONAL
DOCENCIA DE PREGRADO
VINCULACIÓN CON EL MEDIO | DESDE DICIEMBRE 2017
HASTA DICIEMBRE 2021

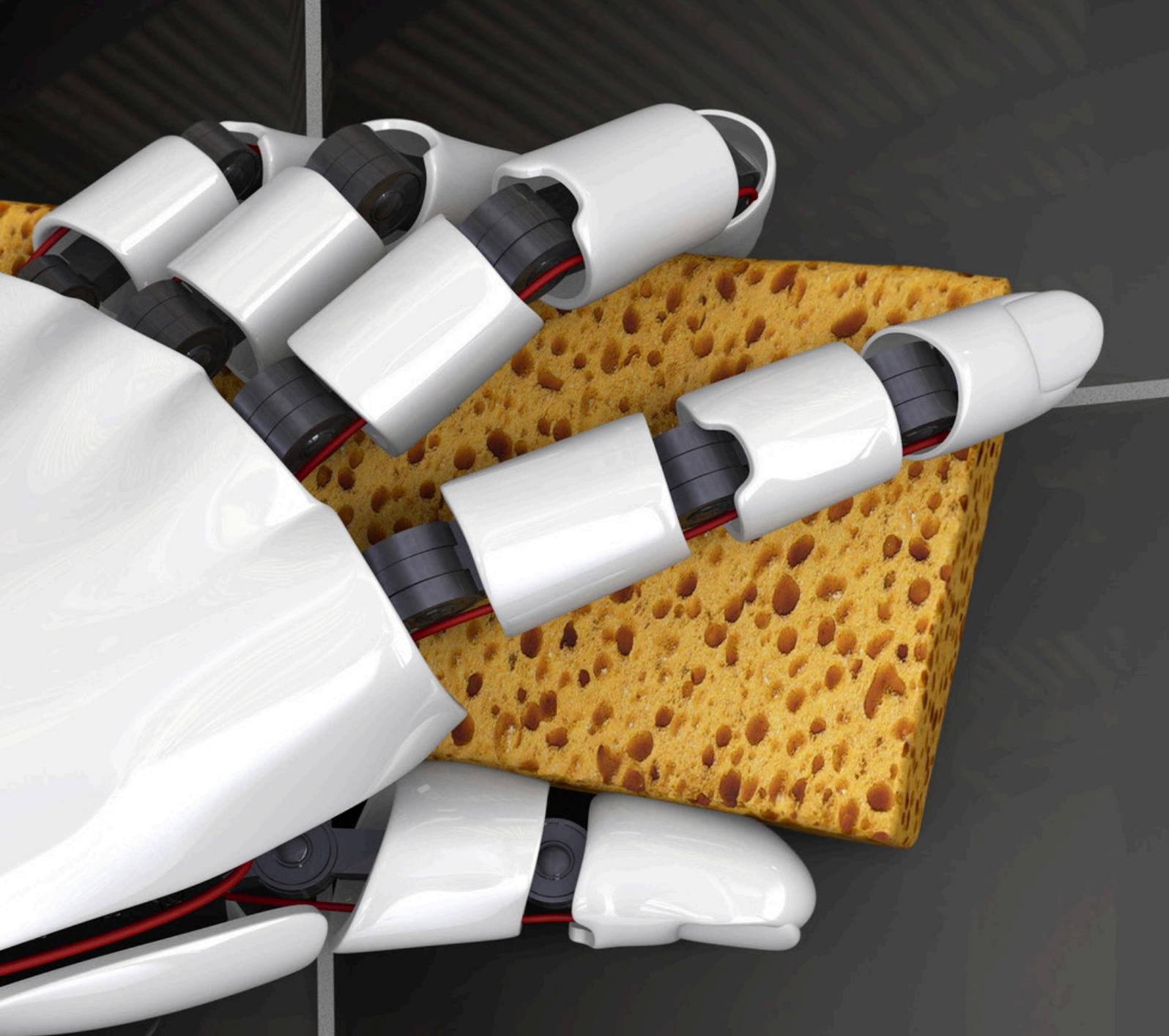
ARQUITECTURA NEURONAL PARA ROBOTS

AFFORDANCES CONTEXTUALES CON
UNA ARQUITECTURA NEURONAL
EN UN ESCENARIO ROBÓTICO

Francisco Cruz

Facultad de ingeniería





Affordances son un método efectivo para anticipar el efecto de acciones ejecutadas por un agente al interactuar con objetos. En este trabajo, presentamos un tarea robótica de limpieza usando affordances contextuales, es decir, una extensión de affordances que toma en consideración el estado actual del agente. Para predecir el efecto de las acciones ejecutadas con diferentes objetos y evitar estados de falla, implementamos una arquitectura neuronal asociativa. Resultados experimentales en un ambiente robótico simulado muestran que nuestra memoria asociativa es capaz de aprender en corto tiempo y predecir estados futuros con gran exactitud.



INTRODUCCIÓN

Cada día más, robots están siendo usados en diversos campos de aplicación y se espera que ellos puedan llevar a cabo tareas hábilmente en tiempo real. Por lo tanto, la anticipación y resolución de situaciones conflictivas que pueden conllevar a errores o tareas incompletas es una propiedad deseable en los robots teniendo como objetivo operar exitosamente en escenarios del mundo real. En este trabajo, extendemos un escenario basado en aprendizaje por refuerzo que consiste de un robot en frente de una mesa con el objetivo de limpiarla [1]. Durante la ejecución de la tarea, el robot transitará por diferentes estados ejecutando acciones y usando objetos hasta que un estado final es alcanzado. Sin embargo, existen acciones que no deberían ser ejecutadas en ciertos estados debido a que pueden conllevar a un estado de fallo y de este modo impidiendo al robot finalizar la tarea exitosamente. Para tratar este problema, utilizamos affordances [2] que son un modelo de aprendizaje que permite predecir el efecto al ejecutar una acción utilizando un objeto. Sin embargo, este esquema no considera el estado actual de el agente y por lo tanto, la información de entrada necesaria para anticipar el efecto es incompleta. Al respecto, proponemos una extensión a este modelo llamada affordances contextuales [3] que considera el estado actual como una variable de entrada adicional con el fin de predecir con exactitud el efecto de una acción usando un objeto.

Para aprender y asociar las affordances contextuales, hemos implementado una arquitectura que contiene una capa con una neuronal cuadrática compleja [4]. La arquitectura asociativa crea una grilla virtual en un plano complejo para mapear las entradas en el espacio de salida. Esta arquitectura nos permite entrenar nuestro modelo con menos iteraciones obteniendo resultados exactos en un ambiente simulado con un robot humanoide que debe limpiar una mesa con diferentes objetos.

AFFORDANCES CONTEXTUALES

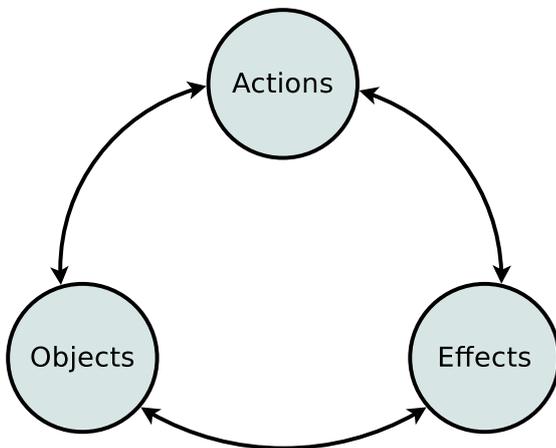
Affordances son posibilidades de acción disponibles para un agente en su ambiente [2]. Ellas representan características de la relación entre un agente y un objeto en términos de oportunidades que el objeto ofrece a un agente [5]. En robótica, affordances han sido usadas como una 3-tupla de la siguiente manera:

$$(1) \quad \textit{affordance} := \langle \textit{action}, \textit{object}, \textit{effect} \rangle$$

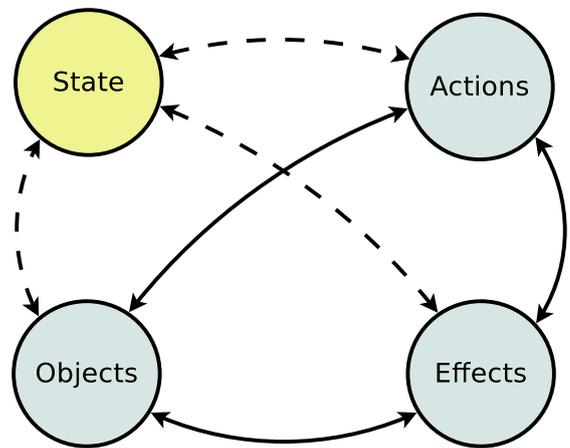
la cual codifica las relaciones entre sus componentes [6][7]. La Fig. 1a muestra el modelo clásico de affordances. Por lo tanto, es posible predecir el efecto usando acciones y objetos como variables de dominio, es decir:

$$(2) \quad \textit{effect} = f(\textit{action}, \textit{object})$$

Sin embargo, aunque este modelo ha mostrado ser apropiado en muchos escenarios, affordances no incluye información de contexto la cual permite anticipar adecuadamente los efectos en todas las situaciones [8]. Es importante señalar que el hecho de poder usar o no una affordance en algún estado dado no determina la existencia de la affordance en si misma. Contrariamente, la affordance está aún presente pero no puede ser aplicada en ese estado, o puede implicar un efecto diferente usando ciertas acciones con algún objeto dado. Consideremos el escenario mostrado en la Fig 2a: una copa posee la affordance de ser tomable, así mismo un dado, pero en caso de que un agente tenga ambas manos ocupadas con dos dados, entonces el agente no podrá tomar la copa, es decir, la affordance está temporalmente no disponible.



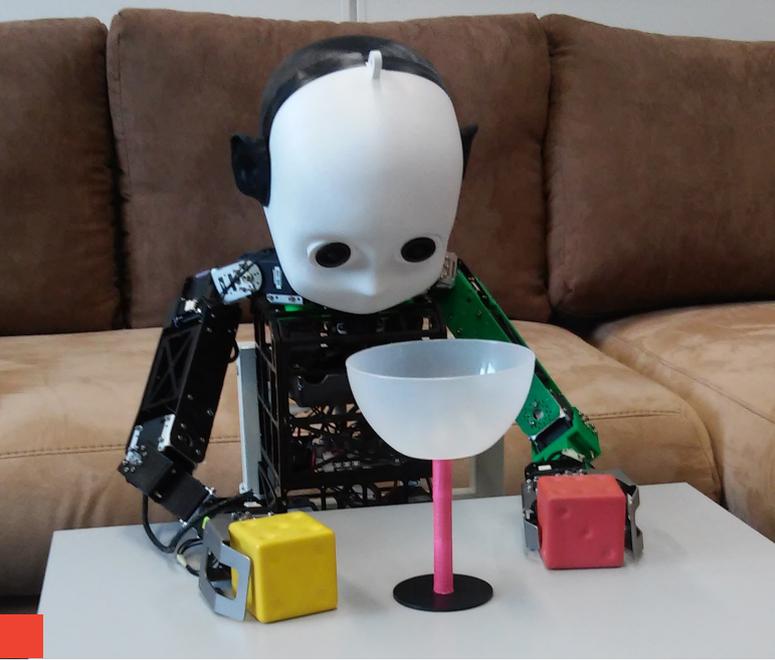
(a) Modelo de affordance



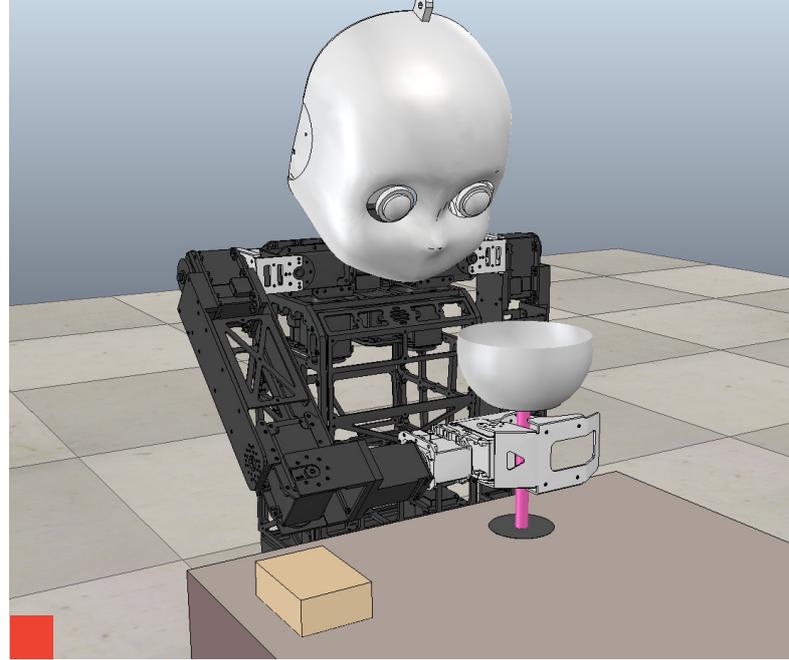
(b) Modelo de affordance contextual

FIGURA 1

Modelo clásico de affordance (a) y la extensión propuesta (b) incluyendo información contextual.



(a) En este escenario, la affordance tomable está temporalmente no disponible.



(b) Nuestro escenario simulado con dos objetos: una copa y una esponja.

FIGURA 2

Escenario robótico real (a) y simulado (b).

Para superar este problema, es posible usar affordances contextuales donde consideramos una variable adicional para introducir información acerca del estado actual [8]. En este caso, la 3-tupla previa es ahora extendida a una 4-tupla de la siguiente manera:

$$(3) \text{ contextualAffordance} := \langle \text{state}, \text{action}, \text{object}, \text{effect} \rangle$$

Usando esta tupla, podemos entonces predecir el efecto considerando la siguiente función:

$$(4) \text{ effect} = f(\text{state}, \text{action}, \text{object})$$

Por ejemplo, dado dos affordances usando la misma acción a y el mismo objeto o , pero desde diferentes estados $s_1 \neq s_2$, por lo que distintos efectos podrían ser generados $e_1 \neq e_2$. Entonces no es factible establecer diferencias entre estas affordances sin información del estado, dado que $e_1 = f(a, o)$ y $e_2 = f(a, o)$, lo que sugeriría que $e_1 = e_2$. Por lo tanto, incorporando el estado actual s_i , un agente podrá distinguir cada caso y , al mismo tiempo usando affordances contextuales, aprender a predecir los efectos $e_1 \neq e_2$ a través de $e_1 = f(s_1, a, o)$ y $e_2 = f(s_2, a, o)$ estableciendo claras diferencias entre ellos [3]. La Fig. 1b muestra el modelo de affordances contextuales incluyendo información acerca del estado actual del agente.

Al utilizar affordances, en algunos casos, el objeto puede ser una localización, por ejemplo una colina posee la affordance de ser escalable, si la acción es escalar y el objeto, o más bien la localización, es una colina. En general, usamos el término objeto para referirse a ambos, ya sean objetos o localizaciones.

Arquitectura Neuronal Asociativa

En este trabajo, hemos desarrollado un arquitectura neuronal asociativa con una neurona cuadrática de valor complejo [9] para definir una nueva grilla de dos dimensiones en el espacio de salida como presentada en [4]. Para un vector de entrada $X \in \mathbb{C}^n$, la salida compleja escalar es $y = X^*AX$, donde $A \in \mathbb{C}^{n \times n}$ es la matriz de pesos y X^* denota la matriz transpuesta conjugada. La salida puede ser descrita

como la sumatoria de los términos individuales de los componentes de X y A :

$$(5) y = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \bar{x}_j x_k a_{jk}$$

La regla de gradiente descendiente que minimiza el error cuadrático medio es:

$$(6) \Delta A = \alpha \varepsilon \bar{X} X^T$$

donde α es una tasa de aprendizaje con un valor real pequeño. La neurona cuadrática tiene ciertas propiedades que otras neuronas usadas comúnmente no tienen, como las neuronas con funciones de transferencia sigmoideal. Por ejemplo, la salida se puede escalar y rotar simplemente multiplicando la matriz de pesos A por un factor escalar $\alpha \in \mathbb{R}$, y una rotación $e^{i\theta}$, donde θ es el ángulo de rotación. Si los vectores de entrada son normalizados, la traslación de la salida y por un escalar complejo z puede ser calculada reemplazando A por $A+zI$. Para un vector de entrada dado X , la salida deseada Y , usada en el algoritmo de aprendizaje, es definida como el punto de intersección más cercano de las líneas de la grilla del plano complejo. En la práctica una función Ψ es definida tal que redondee al entero más cercano para las líneas de la grilla a una distancia fija δ en ambas direcciones:

$$(7) \Psi(Y) = \frac{\text{round}(\delta \text{Re}(Y))}{\delta} + i \frac{\text{round}(\delta \text{Im}(Y))}{\delta}$$

Esta función crea una grilla virtual donde la salida se ajusta a la esquina más cercana en la grilla. El algoritmo de entrenamiento es definido de la siguiente manera:

1. Inicializar los pesos de la neurona con valores aleatorios
2. Calcular Y
3. Calcular $d = \Psi(Y)$
4. Actualizar los pesos de la neurona usando Eq. 6

En cada iteración, los pasos (2) al (4) son ejecutados para todos los vectores de entrada, de tal forma que un conjunto de datos en el espacio de entrada será mapeado a una región similar dentro del

espacio de salida debido a la continuidad de la función de activación. El criterio de término puede ser un número fijo de iteraciones, una tasa de aprendizaje decreciente o un error cuadrático medio mínimo sobre todas las entradas.

Escenario Robótico

La tarea consiste en un robot parado en frente de una mesa con el objetivo de limpiarla. El robot puede usar uno de sus brazos y su agarradera para manipular un conjunto de objetos con el fin de completar la tarea de limpieza. Para esta tarea, definimos objetos, locaciones y acciones. El escenario incluye dos objetos: una esponja y una copa. La mesa está dividida en tres zonas, la zona izquierda y derecha de la mesa y una posición adicional llamada home donde el robot puede colocar la esponja durante la ejecución de la tarea. El robot puede ejecutar cuatro acciones: *get* <object> (tomar un objeto), *drop* <object> (soltar un objeto), *goto* <location> (ir a una localización), y *clean* (limpiar) la sección de la mesa donde el brazo del robot esta localizado en ese momento. La tarea de limpieza robótica en un escenario simulado es representada en la Fig. 2b. Cada estado del robot en el escenario toma en consideración cuatro variables:

TABLA 1

Representación de los datos de entrenamiento usados por la arquitectura neuronal asociativa para clasificación.

DATA REPRESENTATION															
Side conditions				Locations				Actions				Objects			
dd	1	0	0	home	1	0	0	get	1	0	0	0	sponge	1	0
dc	0	1	0	left	0	1	0	drop	0	1	0	0	cup	0	1
cd	0	0	1	right	0	0	1	goto	0	0	1	0	free	0	0
cc	0	0	0	none	0	0	0	clean	0	0	0	1			

1. La posición de la mano del robot
2. El objeto en la mano del robot (si alguno)
3. La posición de la copa
4. La condición de cada lado de la mesa, es decir, si la superficie está limpia o sucia

El vector de estado está representado como:

$$(8) \quad s_t = \langle handPosition, handObject, cupPosition, sideCondition \rangle$$

Sin embargo, desde ciertos estados el robot podría ejecutar acciones que conlleven a estados de fallo, es decir, estados desde donde no es posible completar la tarea. Por ejemplo asumamos el estado actual como $s_t = \langle right, sponge, right, (dirty, dirty) \rangle$, es decir, la copa se encuentra en el lado derecho de la mesa y la mano del robot se encuentra sobre ella sosteniendo la esponja. Entonces, si el robot limpia la sección derecha de la mesa podría romper la copa y, por lo tanto, no es posible finalizar la tarea de limpieza desde el siguiente estado s_{t+1} .

Codificamos todas las variables involucradas como se muestran en la Tabla 1, donde mostramos la representación de los datos para *side conditions*, *locations*, *actions* y *objects*. Dentro de *side conditions*, las letras *d* (*dirty*) y *c* (*clean*) representan el hecho de que la superficie se encuentre sucia o limpia respectivamente.

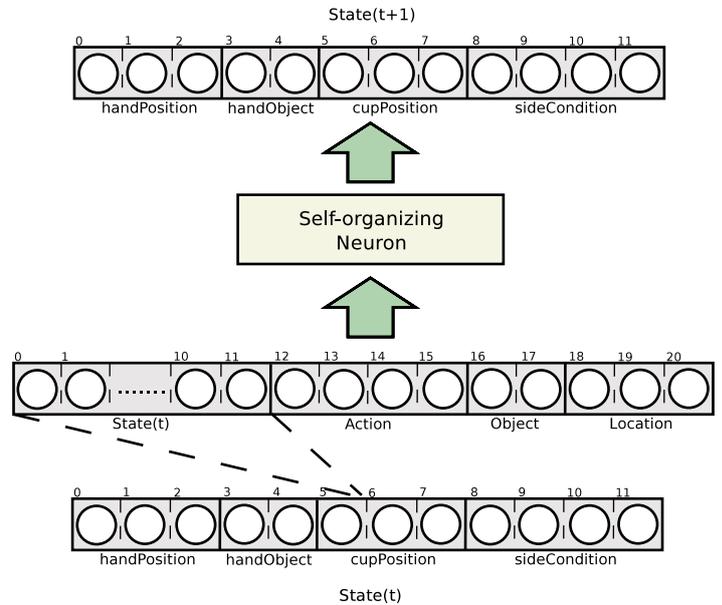


FIGURA 3

Arquitectura neuronal asociativa para la predicción del siguiente estado. En nuestro escenario, el estado alcanzado por el robot representa el efecto de la affordance.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Nuestra estrategia desarrollada usa affordances contextuales para predecir el efecto de una acción ejecutada por el robot. Utilizamos la representación mostrada en la Tabla 1 para generar el conjunto de entrenamiento. Como entrada, utilizamos vectores con 21 variables conteniendo información acerca del estado actual, la acción, el objeto y/o la localización. Cada estado está contenido en las primeras 12 componentes del vector de entrada considerando las cuatro variables que definen a un estado (ver Fig. 3). Nuestra arquitectura contiene una capa neuronal asociativa que mapea el estado actual del sistema en el efecto esperado, que corresponde al efecto de las affordances contextuales codificado como un vector de 12 componentes que representa el siguiente estado. Cuando una acción conlleva a un estado de fallo, todos los componentes de el vector de salida son iguales a cero. Los datos fueron creados considerando todos los posibles estados junto a las acciones y objetos (o locaciones). El número total de ejemplos son 368 instancias para el entrenamiento de la capa asociativa.

Durante el entrenamiento, asociamos la etiqueta (o label) del estado a la salida deseada con fines de clasificación. Posterior a la fase de entrenamiento, cuando un nuevo ejemplo es presentado a la neurona, calculamos y retornamos la etiqueta del estado que minimiza. En nuestra implementación, utilizamos y una tasa de aprendizaje decreciente de la siguiente manera:

$$(9) \quad \alpha_t = \alpha_0 * e^{-\frac{t(t+3)}{k}}$$

donde es el número de iteración, $\alpha_0 = 0.01$ y $k = 5000$.

Experimentos muestran que nuestra arquitectura con una capa asociativa es capaz de clasificar todas las instancias correctamente luego del entrenamiento. El error cuadrático medio disminuyó desde $2.92e-3$ a $2.37e-5$ después de 10 iteraciones como se muestra en la Fig. 4a. La distribución final de la salida después de 10 iteraciones es mostrada en la Fig. 4b, donde el eje x y el eje y son la partes real e imaginaria del plano complejo respectivamente.

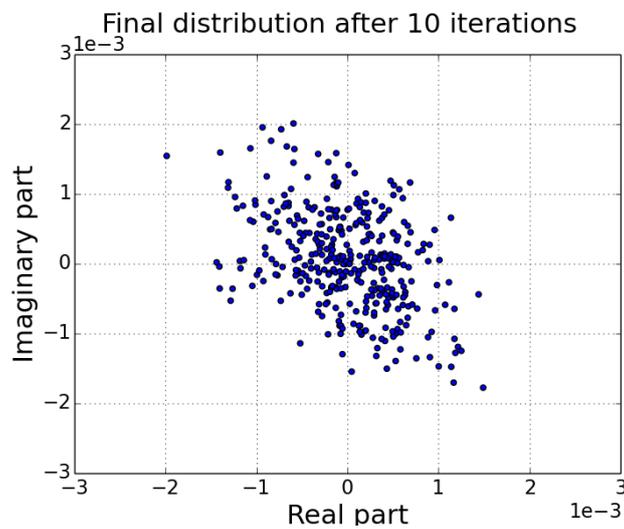
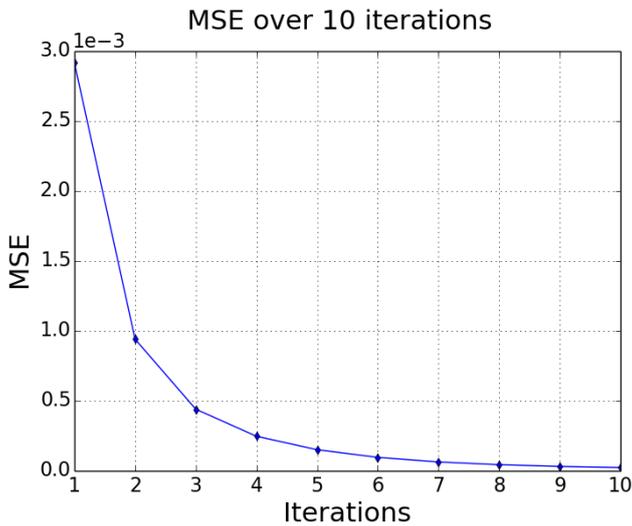


FIGURA 4

Error de entrenamiento (a) y distribución final (b) de la capa asociativa.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La arquitectura propuesta ha sido capaz de predecir satisfactoriamente el efecto de ejecutar una acción usando un objeto utilizando affordances contextuales. Hemos utilizado información adicional del estado para distinguir diferentes situaciones en un escenario robótico de limpieza y hemos evitado estados de falla finalizando la tarea exitosamente. La arquitectura asociativa compleja permitió mapear los vectores de entrada en estados válidos con pocas iteraciones de entrenamiento, lo cual representa una ventaja para aplicaciones de aprendizaje en línea donde el tiempo de respuesta juega un rol crucial.

Como trabajo futuro, el escenario experimental puede ser extendido para utilizar plataformas robóticas reales obteniendo el vector de entrada a través de un sensor de visión y el vector de salida desde el estado real del robot después de ejecutar la acción en el escenario de limpieza.

MÁS INFORMACIÓN

El presente reporte está basada en nuestro anteriores artículos: *Training agents with interactive reinforcement learning and contextual affordances*, publicado en la revista *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems (TCDS)* [10] y *Learning contextual affordances with an associative neural architecture*, publicado en los *Proceedings of the European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning (ESANN)* [3]. Para mayores detalles, por favor consultar los artículos mencionados donde además es posible encontrar experimentos adicionales aplicados a un escenario de aprendizaje por refuerzo interactivo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Cruz, G. I. Parisi, J. Twiefel, and S. Wermter. Multi-modal integration of dynamic audiovisual patterns for an interactive reinforcement learning scenario. *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 759–766, 2016.
- [2] J. J. Gibson. *The Ecological Approach to the Visual Perception of Pictures*. Boston: Houghton Mifflin, 1979.
- [3] F. Cruz, G. I. Parisi, and S. Wermter. (2016). Learning contextual affordances with an associative neural architecture. *Proceedings of the European Symposium on Artificial Neural Networks, Computational Intelligence and Machine Learning (ESANN)*, pp. 665–670, 2016.
- [4] G. Georgiou and K. Voigt. Self-organizing maps with a single neuron. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, pp. 1–6, 2013.
- [5] T.E. Horton, A. Chakraborty, and R. S. Amant. Affordances for robots: a brief survey. *AVANT: Journal of Philosophical-Interdisciplinary Vanguard*, Vol. 2, No.1, pp. 70–84. 2012.
- [6] Self-organizing maps with a single neuron E. Şahin, M. Çakmak, M. R. Doğar, E. Uğur, and G. Üçoluk. To afford or not to afford: A new formalization of affordances toward affordance-based robot control. *Adaptive Behavior*, Vol. 15, No. 4, pp. 447–472, 2007.
- [7] L. Montesano, M. Lopes, A. Bernardino, and J. Santos-Victor. Learning object affordances: From sensory-motor coordination to imitation. *IEEE Transactions on Robotics*, Vol. 24, No. 1, pp. 15–26, 2008.
- [8] M. Kammer, T. Schack, M. Tscherepanow, and N. Yuki. From affordances to situated affordances in robotics - Why context is important. *Frontiers in Computational Neuroscience, Conference Abstract IEEE ICDL-EpiRob*, Vol. 5, No. 30, 2011.
- [9] G. Georgiou. Exact interpolation and learning in quadratic neural networks. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, pp. 230–234, 2006.
- [10] F. Cruz, S. Magg, C. Weber, and S. Wermter. Training agents with interactive reinforcement learning and contextual affordances. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, Vol. 8, No. 4, 271–284, 2016.

A hand is shown holding a metal faucet over a patch of green grass. The faucet is a standard kitchen tap, and the hand is positioned as if about to turn it on. The background is a soft-focus field of grass, suggesting an outdoor setting. The overall image conveys a message of water conservation and environmental awareness.

DISEÑO DE PROTOTIPO DE EQUIPO ELECTRÓNICO PARA EL AHORRO DE AGUA DE USO DOMICILIARIO

*Monserrat Landaeta
Raimund Hofmann
Enrique Faijo*

El mal uso del agua potable se cuestiona constantemente, ya que es un recurso indispensable, vital, y no renovable, además es necesaria para variadas actividades realizadas por el ser humano. Tal como señala el gobierno de Chile a través de la página web de la campaña "CUIDEMOS EL AGUA", a nivel mundial existe 1400 millones de personas que no disponen de agua potable para su uso doméstico, 15 millones de niños mueren al año por falta de agua potable, 1 de cada 5 personas no tiene acceso a agua potable, 3000 litros de agua promedio se requieren para producir la comida diaria de una persona. Con estas cifras queda demostrado que el agua potable es un insumo primordial y escaso, pero no existe responsabilidad en su consumo (Gobierno de Chile, 2014).

¿Cuántas veces nos paramos frente a la ducha y esperamos minutos o segundos hasta que el agua de la ducha salga a una temperatura aceptable?, y cuándo se inicia el baño, tampoco se tiene conciencia respecto del tiempo que debe durar un baño en la ducha, por ejemplo dejar correr el agua mientras se jabona o se vierte champú en el cabello también tiene un grado de responsabilidad. En Chile, el consumo por persona asciende entre 125 y 200 litros de agua diarios, entre comidas, bebidas y actividades que se realizan día a día. Esta cifra aumenta en algunos sectores de la capital de Santiago en donde se registra el consumo más alto de agua, llegando a cifras tales como 600 litros por persona (Gobierno de Chile, 2014).

La problemática principal radica en el agua potable de uso doméstico, la cual no se aprovecha en su totalidad. Por ejemplo, el agua que sale a una temperatura inferior a la esperada, se pierde y cuando sale, no se dosifica apropiadamente.

En este trabajo de memoria de título, se diseñó y construyó un prototipo que permite generar ahorros de agua potable. El trabajo consistió en tomar medidas del agua a temperatura menor a lo esperado en una ducha, además se calcula el tiempo que tarda el flujo de agua en llenar un recipiente, esto con el fin de conocer el nivel de pérdida de agua para una persona promedio, y luego calcular la pérdida en una vivienda compuesta de 4 integrantes en promedio.

El prototipo permite por un lado el almacenamiento de agua potable que sale desde una ducha y que no cumple con la temperatura mínima esperada y dejarla disponible para una posterior utilización en otros usos domésticos, como lava manos, cocina, y WC.

El equipo considera el diseño de un equipo electrónico a partir del uso de una placa Arduino, como sistema de control, que permite enviar el agua limpia de baja temperatura a un recipiente contenedor. Mientras tanto, el agua potable recolectada se redirecciona para consumo humano, por ejemplo, cocinar o beber, ya que es totalmente potable. Cuando el agua cumple con las condiciones de temperatura esperada, sale por el ducto de la ducha.

Para utilizar la placa de Arduino y sus accesorios, es necesario conocer el lenguaje de C++, Se usa un sensor de temperatura que entrega información a la Placa, y esta pone en movimiento los motores para direccionar el agua según las instrucciones de temperatura entregadas. Dado que la placa de Arduino uno permite ordenar a los motores a girar en una dirección u otra, se considera una placa adicional llamada placa Shield, la cual permite invertir la polaridad.

El prototipo permite su uso en viviendas ya construidas, utilizando los espacios disponibles en el contorno inferior de la tina de la ducha o construir un recipiente especial para el almacenar del agua. También puede ser parte de los accesorios a instalar en construcciones nuevas, entregando un valor agregado a clientes que buscan viviendas que tengan implementado equipos que optimicen el uso de agua.

A continuación se muestra fotografías del prototipo de sistema de control que internamente tiene la placa Arduino, Sensor de Temperatura y Actuador solenoide conectado a la vía de entrada y salida de agua.:



FIGURA 1

Sistema de Control y pantalla LED con caja estanca.



FIGURA 2

Sensor de temperatura conectada a la entrada de agua.

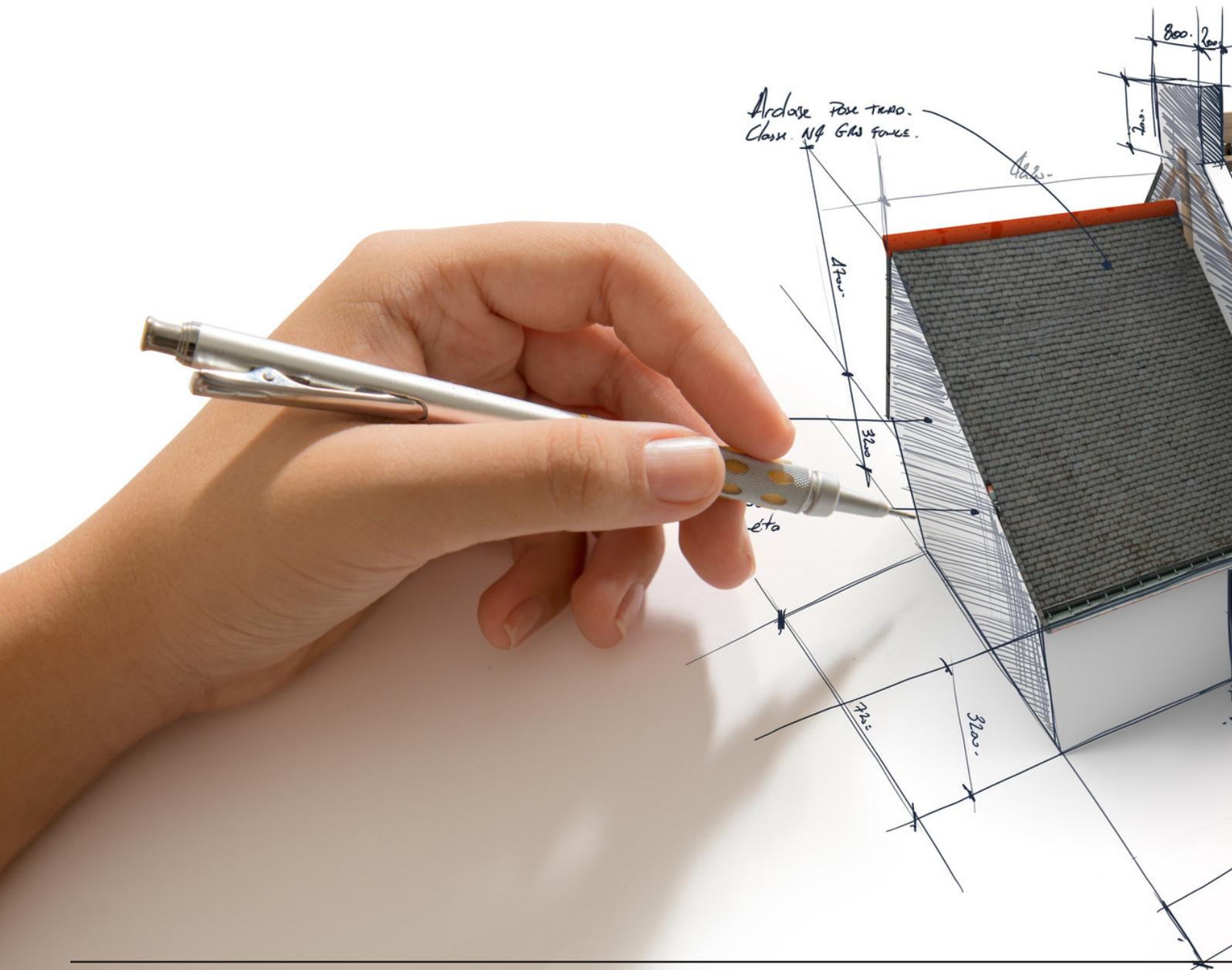


FIGURA 3

Actuador solenoide conectado a la vía de entrada y salida de agua.

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN UNA VIVIENDA SOCIAL: ANÁLISIS DE MEJORAS EN AISLAMIENTO TÉRMICO A PARTIR DE LA REGLAMENTACIÓN TÉRMICA

Héctor Hernández



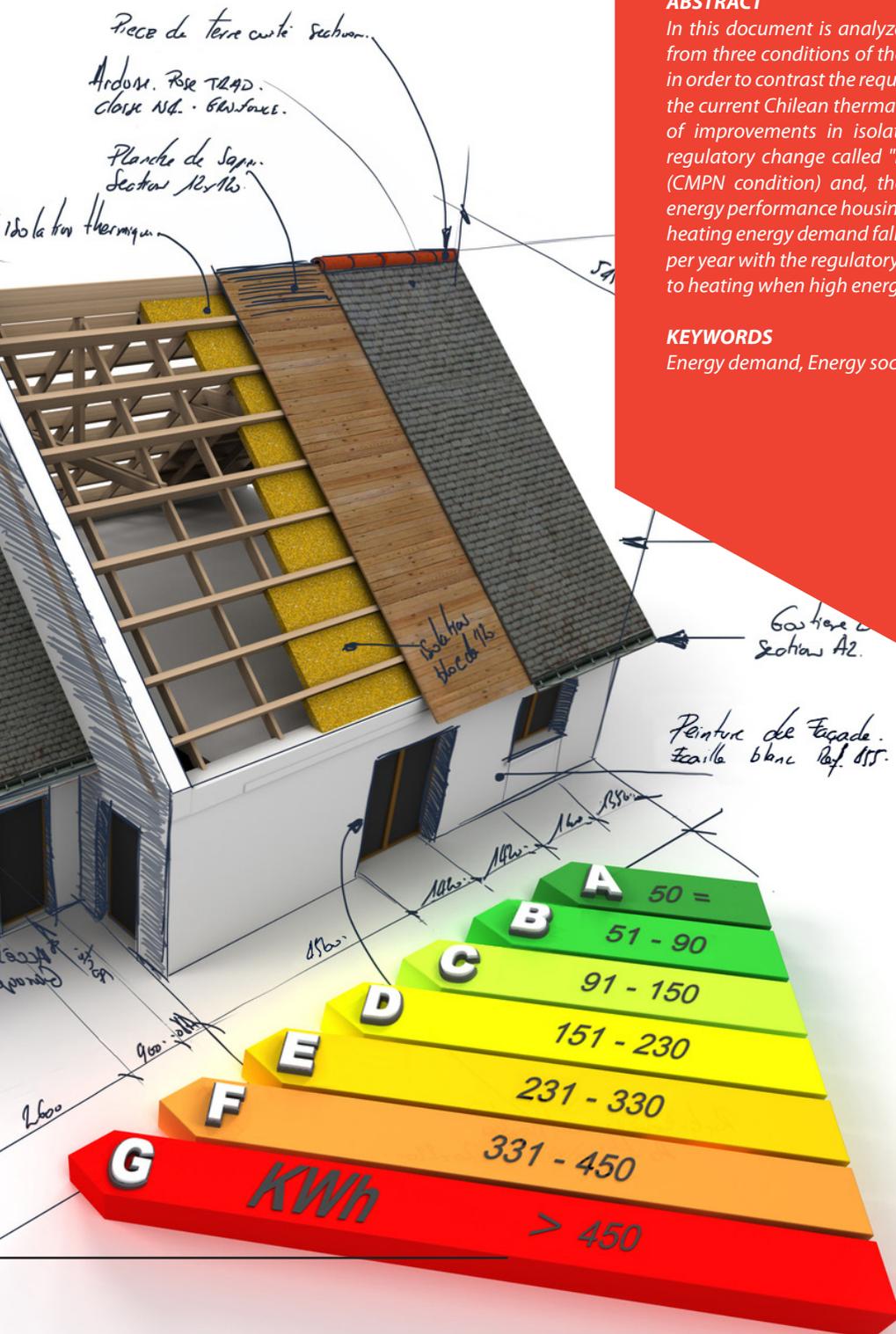
En el presente documento se analiza la energía demandada por una vivienda social a partir de tres condiciones de aislamiento térmico en la zona térmica 3. Esto, con el objeto de contrastar los requerimientos de transmitancia térmica (U-value) de la actual reglamentación térmica chilena (condición CB), con dos propuestas de mejoras en aislamiento. La primera, basada en la propuesta de cambio normativo denominada "Anteproyecto de norma NTM.011/2 2014" (condición CMPN) y, la segunda, basada en estándares para viviendas con alto desempeño energético (condición CMPH). Los resultados muestran que la demanda de energía para calefacción cae de 119,5 kWh/m² al año a 56 kWh/m² al año con el aislamiento definido por la propuesta normativa y, que prácticamente no se requiere de energía para calefaccionar cuando se aplica el aislamiento de viviendas con alto desempeño energético.

ABSTRACT

In this document is analyzed the energy demanded by a social housing from three conditions of thermal insulation in the thermal Zone 3. This is in order to contrast the requirements of thermal transmittance (U-value) in the current Chilean thermal regulation (CB condition) with two proposals of improvements in isolation. The first one, based on the proposed regulatory change called "Preliminary Draft Standard NTM 011/2 2014" (CMPN condition) and, the second one, based on standards for high energy performance housings (CMPH condition). The results show that the heating energy demand falls from 119,5 kWh / m² per year to 56 kWh / m² per year with the regulatory proposal and practically no energy is required to heating when high energy performance homes insulation is applied.

KEYWORDS

Energy demand, Energy social housing, Stationary energy analysis.



INTRODUCCIÓN

Los edificios representan alrededor del 40% del consumo mundial de energía y contribuyen con más del 30% de las emisiones de CO₂ (Yang, Yan, & Lam, 2014). Además, se estima que el 75% del total de energía consumida por el sector edificación es residencial (Yau & Hasbi, 2013). Esto evidencia el potencial que presentan las viviendas a nivel mundial en cuanto a la reducción del consumo de energía y a la mitigación de las emisiones contaminantes que propician el calentamiento global. Por tanto, reacondicionar térmicamente las edificaciones es el primer desafío que deben enfrentar quienes deseen concebir viviendas más eficientes, pues la rehabilitación de la envolvente no solo aporta a mejorar las condiciones de confort térmico, condiciones básicas de habitabilidad, sino también implican reducir fuertemente el consumo de energía y mitigar las emisiones de CO₂ al ambiente.

Cabe entonces cuestionarse ¿qué viviendas deben rehabilitarse? La respuesta es simple, en general, la mayoría de las viviendas presentan oportunidades de mejora. Aproximadamente el 80% de las viviendas chilenas fueron construidas previa entrada en vigencia de la primera etapa de la reglamentación térmica – aislamiento de complejo de techumbre – el año 2000 (CDT, 2010), por tanto, es de esperar la existencia de muchas viviendas que no cumplen con estándares de aislación adecuados. En este conjunto destacan las viviendas de las familias más vulnerables, donde el crecimiento se ha concentrado en las municipalidades periféricas de la Región Metropolitana (Borsdorf, Hildalgo, & Vidal-Koppmann, 2015). Hogares que en general no se refrigeran en verano, pero que sí se calefaccionan en invierno y; donde las temperaturas en los meses más fríos pueden llegar a ser de 2°C más bajas que en el centro de la ciudad debido al efecto isla de calor (Sarricolea Espinoza & Martín-Vide, 2014). Son estos barrios, con las familias de menores ingresos, los que exhiben los peores estándares urbanos (Brain & Mora, 2012).

En enero de 2007 entró en vigencia la segunda etapa de la actual reglamentación térmica chilena que, entre otras causas, daba respuesta a los nuevos requerimientos globales de construcción sustentable, a la escasez de recursos energéticos y la necesidad de disminuir la gran dependencia energética en hidrocarburos que presentaba el país. Actualmente, las nuevas políticas energéticas para Chile buscan conseguir al año 2050 que la generación eléctrica nacional provenga en gran parte de energías renovables (>70%) y que el 100% de las edificaciones nuevas tengan altos estándares de construcción eficiente y cuenten con sistemas de control de energía. (Ministerio de Energía, 2015). Sin embargo, a pesar de todos los avances existentes desde el 2000 en eficiencia energética y sustentabilidad en viviendas, existe poco impacto en lo normativo a nivel habitacional (Blender, 2015). En este contexto, constan propuestas de modificación a la reglamentación térmica vigente – definida en el Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción –, una de ellas es anteproyecto de Norma NTM 011/2 2014 “Requisitos y mecanismos de acreditación para acondicionamiento ambiental de las edificaciones. Parte 2: Comportamiento higrotérmico” (MINVU - Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2014).

Consecuentemente, el objetivo de esta publicación es analizar el desempeño energético de una vivienda social a partir de tres situaciones de acondicionamiento térmico: a) una que dé respuesta a la actual reglamentación térmica, b) otra que dé respuesta a la propuesta de anteproyecto de Norma NTM 011/2 2014 y, finalmente, c) otra que dé respuesta a un alto estándar de construcción eficiente. Para esto, se proponen los siguientes objetivos específicos: a) Caracterizar la vivienda social y definir un caso de estudio, c) Estudiar la temperatura

interior media (Tim) y la demanda de energía para cada caso y, c) Evidenciar que la actual reglamentación térmica chilena, al igual que su propuesta de cambio, no propician altos estándares de desempeño energético en viviendas.

1.1. Metodología

En la selección y definición de la vivienda de estudio – que fuera representativa y que diera cumplimiento a la definición de vivienda social y a los requerimientos de la actual reglamentación térmica –, fueron consultados un estudio de la Corporación de Desarrollo Tecnológico CDT, dictámenes de la Contraloría General de la República sobre la definición de vivienda social y proyectos de construcción de viviendas sociales licitados en el portal mercadopublico.cl. Definida la vivienda de estudio (caso base o de referencia, en adelante CB), se establecieron dos propuestas de mejoramiento a la vivienda de referencia. Estas mejoras fueron sustentadas en los requerimientos de transmitancias térmicas (U-Value) para los elementos de envolvente derivados; primero, del anteproyecto de Norma NTM 011/2 2014 (caso mejorado en base a propuesta normativa, en adelante CMPN) y, segundo, del estándar Passivhaus impuesto a la vivienda ganadora del premio UK 2016 (Passivhaustrust, 2016) (caso mejorado con parámetros Passivhaus, en adelante CMPH). En cada caso se estudió, principalmente, la temperatura interior media (Tim) y el requerimiento de energía de la vivienda para generar las condiciones de confort térmico en la ciudad de Santiago de Chile (Zona 3 de la actual normativa). Lo anterior, a partir de un análisis de eficiencia energética estacionario simplificado (Hernández, 2016) sustentado en el cálculo de transmitancias térmicas (U-Value) según la Norma Chilena NCh853, permitieron contrastar los casos CB, CMPN y CMPH en torno a las mejoras en los aislamientos térmicos.

MARCO CONCEPTUAL

2.1. La Vivienda Social

La Contraloría General de la República de Chile, en los dictámenes 58261/2007 y 44279/2011, establece que las viviendas sociales deberán cumplir con todos y cada uno de los siguientes requisitos para ser consideradas como tales (Contraloría General de la República, 2011):

- a) Que se construya conforme al D.F.L. N° 2, de 1959;
- b) Que la superficie edificada no sea superior a los 140 m²;
- c) Que reúna los requisitos, características y condiciones que determine el Reglamento Especial de Viviendas Económicas, contenido en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (Título 6, Capítulo 1, Art.6.1.2);
- d) Que tenga carácter definitivo;
- e) Que esté destinada a resolver los problemas de la marginalidad habitacional;
- f) Que sea financiada con recursos públicos o privados;
- g) Que su valor de tasación no sea superior a 400 UF, salvo que se trate de condominios de viviendas sociales en cuyo caso podrá incrementarse dicho valor hasta en un 30% (520 UF), y
- h) Que cumpla las características técnicas de urbanización y de equipamiento que señalen los reglamentos que dicte el Presidente de la República por intermedio del Ministerio de Vivienda y Urbanismo.
- i) Que su Carácter de vivienda Social sea certificado por el Director de Obras Municipales.

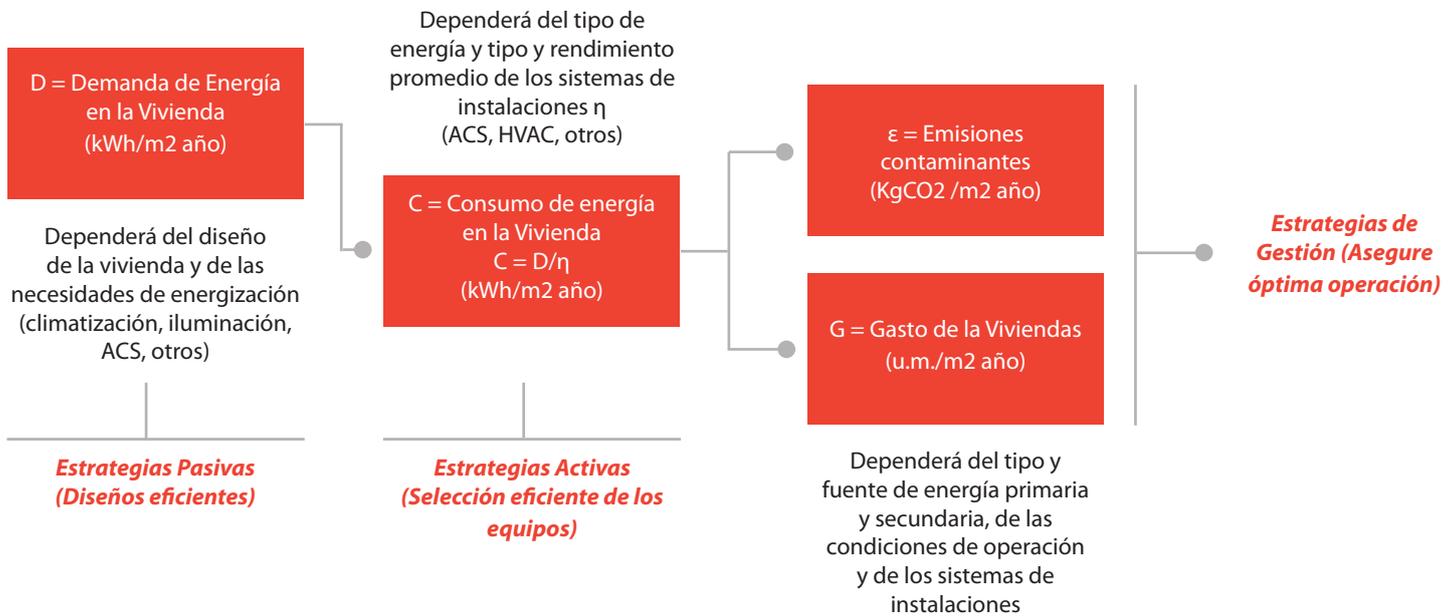


FIGURA 1

Indicadores que definirán la eficiencia energética. Fuente: Adaptada de (Hernández & Meza, 2011)

2.4. Viviendas de bajo consumo energético

Una vivienda de bajo consumo deberá tener en cuenta los siguientes aspectos (Rey & Velasco, 2006):

1. Consideración de los aspectos energéticos en la fase del diseño de la vivienda.
2. Forma compacta del edificio
3. Aislamiento térmico reforzado
4. Limitación de los puentes térmicos
5. Estanqueidad al aire
6. Empleo eficaz de la energía solar pasiva
7. Instalaciones térmicas eficientes y fáciles de utilizar
8. Sanitarios de bajo consumo de agua
9. Equipamientos eléctricos de bajo consumo energético
10. Elección de materiales de construcción reciclables cuya producción y puesta en obra necesiten poca energía

Estos aspectos definirán la demanda, el consumo y la inversión en recursos energéticos, además de las emisiones contaminantes al medio ambiente durante todo el ciclo de vida de una vivienda.

2.5. Energía: Demanda, consumo, gasto y emisiones.

En los análisis de eficiencia energética en edificaciones es importante tener presente que las energías pueden tipificarse en: renovables o no renovables y, dependiendo si la energía es transformada, en primarias o secundarias. También se debe tener claridad en la diferenciación de los conceptos de demanda, consumo y gasto energético, como asimismo, la vinculación de estos con las emisiones de CO₂ al ambiente. La cantidad de energía demandada por la vivienda para generar el acondicionamiento térmico, medida en kWh /m² al año, corresponde a la cantidad de energía necesaria para calefaccionar o refrigerar los espacios habitacionales. No serán considerados en este estudio la energía demandada para el abastecimiento de agua caliente sanitaria, iluminación, cocción u otras funciones análogas. La demanda de energía se puede estudiar bajo régimen estacionario o dinámico, en este último caso, la ayuda de programas de simulación computacional

son imprescindibles para su determinación. Para este estudio se ha utilizado un análisis estacionario.

Por otra parte, la relación entre demanda y consumo energético queda definida por los rendimientos de los equipos o sistemas de instalaciones presentes en la edificación (η), los que en general difieren de vivienda en vivienda y dependen, básicamente, de las pérdidas de generación, de distribución, de regulación y de control de los propios sistemas. Consecuentemente, menor demanda de energía y mayores rendimientos de los sistemas redundarán en menores consumos de energía (en kWh /m² al año) y menores emisiones contaminantes al ambiente (en KgCO₂/m² año) que, dependiendo del tipo y fuente de energía, podrán o no ser significativos (Energía eléctrica de origen solar será muy distinto que energía eléctrica de origen fósil). Asimismo, y conforme al precio que el mercado defina para las energías que alimentan la vivienda (en general energías secundarias, como la electricidad), se determinará el gasto energético medido en unidades monetarias por m² al año (u.m./m² año); el cual también dependerá del tipo y fuente de energía (Gasto en electricidad de origen solar diferirá con gasto de electricidad de origen fósil). Estos indicadores energéticos se resumen en la figura 1, los que son congruentes con el Enfoque Estratégico que sigue la premisa de implementar primero "Opciones Pasivas" reductoras de carga para el diseño de edificios, seguido de "Opciones Activas" energéticamente eficientes para acondicionamiento térmico y ventilación según sea necesario, para luego ajustar la operación del edificio a través de la "Gestión en el uso de la energía" (bigEE - Wuppertal Institute for Climate, 2012).

DEMANDA ENERGÉTICA DE LA VIVIENDA ESTUDIADA

3.1. Definición de vivienda base de estudio y propuestas de mejora

Según el "Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de la Energía en el Sector Residencial de Chile" (2010), el 48,8% de las viviendas en Chile está materializada en ladrillo y el 0,8% presenta equipos de aire acondicionado (CDT, 2010). Por tanto, una vivienda que solo es calefaccionada y materializada en albañilería resulta ser representativa para el estudio. Este antecedente, más los expuestos

en el apartado 2.1 que definen la vivienda social chilena, permitieron seleccionar una vivienda unifamiliar entre un grupo de viviendas cuya construcción fuera licitada en el portal mercadopublico.cl y diera cumplimiento a los requerimientos de la actual reglamentación térmica chilena para la Zona 3.

La vivienda seleccionada corresponde a una vivienda tipo municipal, materializada en albañilería armada de 50,5m², la que contempla un recinto de estar comedor, dos dormitorios, un baño y una cocina con lavadero al exterior. Las superficies de ventanas, muros, puertas y cielo son de 7m², 57m², 4,5m² y 50,5m² respectivamente, con un perímetro de piso igual a 28,46m (Figura 2). La vivienda que se ajusta al cuadro normativo D.S. N° 49 del Ministerio de Vivienda y Urbanismo que permite a familias vulnerables que no pueden acceder a un crédito hipotecario financiar la adquisición o construcción de una vivienda. Esta edificación define la vivienda de referencia CB (caso base), cuyos valores de transmitancias térmicas (U-Value) exigidos por la normativa vigente se contrastan con los requerimientos planteados para los casos CMPN (caso mejorado en base a propuesta normativa, donde Zona 3 pasa a ser Zona D) y CMPH (caso mejorado con parámetros Passivhaus) en tabla 1.

3.2. Resultados de la modelación estacionaria

La modelación estacionaria se sustenta en un procedimiento simplificado para el cálculo de la demanda y rendimiento energéticos de un edificio. (Lavigne, 2003) establece que cuando se enfrenta un problema que exhibe parámetros que varían de modo periódico alrededor de un valor medio, como lo son los parámetros que influyen sobre el estado térmico de un edificio para un periodo de 24 horas, entonces se aplica el principio de superposición. Este principio reemplaza un problema complejo por dos problemas más simples que se encuentran superpuestos, es decir, un problema de régimen permanente en el marco de los valores medios y un problema dinámico periódico. Por consiguiente, los análisis bajo regímenes estacionarios o semi-estacionarios consisten en simplificaciones físicas ambientales, caracterizadas por valores promedio mensuales de varios factores, tales como las temperaturas ambientales, los valores de radiación solar, entre otros; donde la fluctuación típica de las variables diarias se reduce a un único valor que puede considerarse constante durante todo el mes (Evangelisti, Battista, Guattari, Basilicata, & de Lieto Vallaro, 2014).

Basados en la metodología de análisis estacionario propuesta por Lavigne (2003) y su ejemplificación a partir de un análisis simplificado en el documento análisis energético de una vivienda (Hernández H., 2016), la tabla 2 muestra los resultados obtenidos de la modelación de la vivienda de estudio en la ciudad de Santiago (Región Metropolitana, Zona 3). Resultados tanto para el caso base de estudio (CB), como para los casos con propuestas de mejoras (CMPN y CMPH). Entre los indicadores energéticos de la tabla 2 destacan, la energía anual demandada para la generación de las condiciones de confort térmico (considera temperatura de confort igual a 20°C y tasas de renovación de aire de 1h-1 para invierno y de 2h-1 para verano), las estimaciones de los consumos energéticos anuales (supone un rendimiento de 90%), los gastos energéticos anuales (supone un costo de 0,0040 UF/kWh considerando uso de electricidad y 0,0029 UF/kWh considerando uso de gas licuado derivado del petróleo GLP) y las emisiones de CO₂ al ambiente considerando coeficientes de paso iguales a 0,685 kg CO₂eq/kWh para electricidad y 0,195 kg CO₂eq/kWh para GLP (Cárdenas, Muñoz, Riquelme, & Hidalgo, 2014).

TABLA 2
Indicadores de Eficiencia derivados de análisis estacionario.

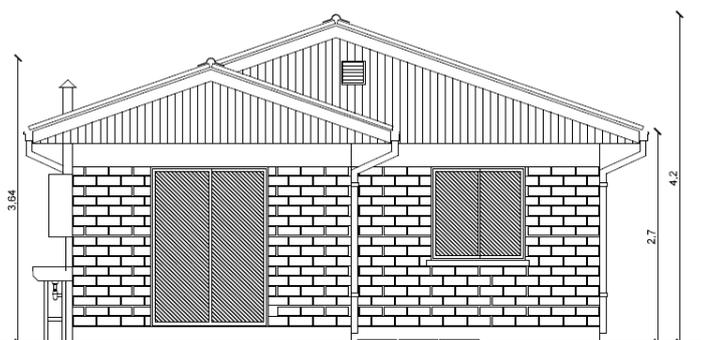
Indicador de Eficiencia	CB	CMPN	CMPH
Dda. Calefacción (kWh/m ² año)	119,5	56,0	0,8
Dda. Refrigeración (kWh/m ² año)	67,1	57,0	75,8
Consumo en calefacción (kWh, considera η=90%)	6704	3144	44
Tím meses calefacción (°C)	15,20	14,90	19,50
Desviación Tím calefacción (°C)	3,22	2,05	0,01
Tím meses de refrigeración (°C)	24,70	24,10	27,50
Emisiones calefacción a GLP (Kg CO ₂ / m ² año)	25,89	12,14	0,17
Emisiones calefacción a electricidad (Kg CO ₂ /m ² año)	90,93	42,64	0,60
Gasto en calefacción a electricidad (UF/año)	26,81	12,57	0,18
Gasto en calefacción a GLP (UF/año)	19,44	9,12	0,13

TABLA 1
U-Value para dar cumplimiento a los casos planteados.

Elementos envolvente	U (W/m ² *K)		
	CB	CMPN	CMPH
VENTANAS	1,0000	3,0000	4,0000
MUROS	0,3333	1,0000	3,0000
PUERTAS	0,2500	0,3333	1,0000
CIELO	0,2154	0,2000	1,3029
PISO*	1,7988	4,5333	8,3029

*Piso no ventilado, transmitancia térmica lineal (W/m²*K).

Fuente: Elaboración propia.



ELEVACIÓN FRONTAL (sin escala)

FIGURA 2

Vivienda de estudio. Fuente: (MINVU, 2017)

Para facilitar el análisis en torno a la energía demanda anual, se presentan las figuras 3 y 4. Esta última será útil en la interpretación de la relación entre aislamiento térmico, condensación superficial y estanqueidad en viviendas. La distribución de las demandas de energía a través del año, mostradas en la figura 2 para los casos CB, CMPN y CMPH, derivan del análisis estacionario; donde el requerimiento energético mensual corresponde a la estimación de la energía que es necesaria suministrar a la vivienda para ajustar la temperatura interior media T_{im} (calefaccionar en invierno o refrigerar en verano) a la temperatura de confort.

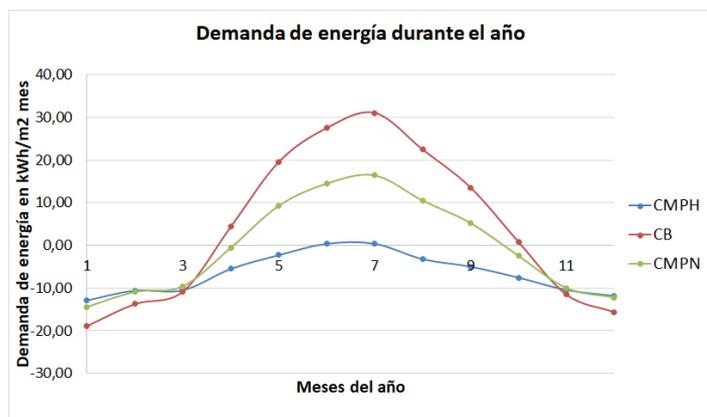


FIGURA 3

Demanda de energía a través del año para los casos de estudio.
Elaboración propia.

A partir de la determinación de la T_{im} en el análisis estacionario, la figura 4 muestra las diferencias entre las temperaturas superficiales interiores T_{si} esperadas para los muros en los meses de más frío del año (mayo a septiembre) y la temperatura de rocío $T_{rocío}$ para una humedad relativa interior de 50% y 70% conforme a las transmitancias térmicas (U-Value) definidas para muros en los casos CB, CMPN y CMPH según consta en la tabla 1. Así, la T_{si} media del muro es estimada a partir de la Ec.1, donde T_{em} corresponde a la temperatura exterior media para cada mes analizado; y la $T_{rocío}$ – temperatura a la que precipita el vapor de agua contenido en el aire – es calculada a partir del ábaco psicrométrico para las diferentes condiciones promedio de temperatura interior y humedad relativa interior.

$$T_{si \text{ muro}} = T_{im} - 0,12 * U_{\text{muro}} * (T_{im} - T_{em}) \text{ Ec. 1}$$

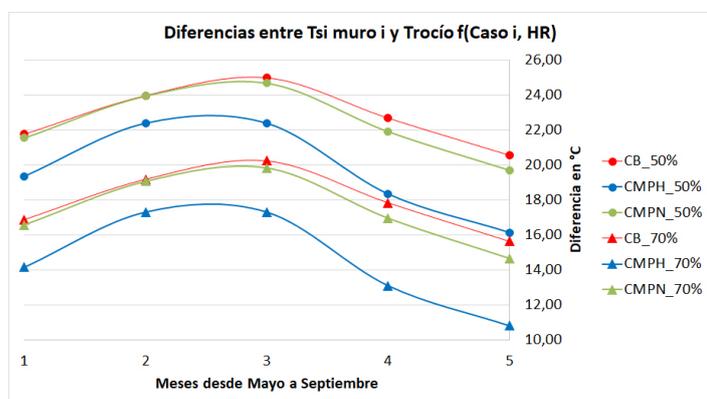


FIGURA 4

Diferencias entre T_{si} del muro y la $T_{rocío}$ para los casos de estudio.
Elaboración propia.

ANÁLISIS DE LOS DATOS Y RESULTADOS DE LA MODELACIÓN

De la tabla 1 se desprende que, aunque la propuesta de cambio normativo (CMPN) presenta una mejora significativa en el requerimiento de aislamiento para algunos elementos de envolvente, por ejemplo, el U-Value en muro cae en 68% para la zona 3; siguen siendo requerimientos de transmitancias que no corresponden a altos estándares de eficiencia como lo son los definidos para el caso CMPH (Passivhaus). Así, para lograr los ahorros en energía estimados en el caso CMPH, la transmitancia térmica del muro cae en 94,1% con respecto al caso CB y en 81,2% con respecto al caso CMPN. También se aprecia que la variabilidad que experimentan las transmitancias térmicas en elementos de ventanas, muros, puertas y cielo es mucho menor en el caso CMPH, no así en los casos CB y CMPN. Esto se desprende del cálculo del coeficiente de variación de las transmitancias equivalentes a 96,5%, 102,3% y 30,2% en los casos CB, CMPN y CMPH respectivamente. Esto se evidencia al determinar la relación existente entre las transmitancias térmicas de la ventana y el muro en la tabla 1, siendo de 3,1 para CB, de 6 para la CMPN y de 0,5 para el CMPH.

Conforme a la tabla 2, la demanda de energía estimada de calefacción anual cae con la propuesta normativa de 119,5kWh/m² al año a 56 kWh/m² al año, lo que representa una disminución de 53,1% en el consumo de energía. Sin embargo, al aplicar los parámetros de transmitancia térmica derivados de la vivienda ganadora del premio Passivhaus UK 2016, la demanda de energía para calefaccionar en los meses fríos es prácticamente nula, disminuyendo la demanda con respecto al caso base CB en un 99,3%.

La demanda de energía en refrigeración presenta menor variabilidad, esto se desprende al contrastar cada resultado con la demanda promedio de los tres casos propuestos igual a 66,6kWh/m² año; por tanto, no se presentan las mismas diferencias que en las demandas de calefacción. También, y contrario a los resultados para calefacción, la demanda de refrigeración para el caso CMPH es mayor que en los casos CB y CMPN. Esto es debido a que el mayor aislamiento en CMPH, para igual tasa de renovación de aire, provoca que la T_{im} en la vivienda sea mayor en los meses de calor; evidenciando la necesidad de mayor ventilación para refrescar la vivienda más aislada en verano. Pese a esto, hay que tener presente que en análisis estacionarios como el aplicado, la demanda de energía para refrigeración debiera ser algo menor, ya que estudios han demostrado que los valores de demanda de refrigeración obtenidos con software de simulación dinámica son menores en comparación con los valores calculados en condiciones semi-estacionarias, pues el software dinámico tiene en cuenta la inercia térmica de la estructura y, en particular, que durante la noche, el edificio libera el calor almacenado durante el día. Durante el tiempo de enfriamiento, esta diferencia porcentual crece hasta aproximadamente el 38% en edificios con alta inercia térmica que son simulados con TRNSYS (Evangelisti, Battista, Guattari, Basilicata, & de Lieto Vallaro, 2014)

Dado que las mejoras en transmitancia térmica implican disminuciones en las demandas de energía y que la relación entre la demanda de energía y las emisiones de CO₂ es directa, entonces, se producen disminuciones en las emisiones de CO₂ análogas a las producidas en la demanda; sin embargo, y dado los coeficientes de paso utilizados para cada tipo de energía, las emisiones en este caso de estudio son mayores cuando se utiliza energía eléctrica en lugar de GLP. Lo mismo ocurre con el gasto de energía, aunque las diferencias para los resultados según tipo de energía son mucho menores. Ahora bien, el ahorro anual en calefacción entre los casos CB y CMPH, equivale a 26,63UF al

año y 19,31UF al año para electricidad y GLP respectivamente, podrán justificar inversiones en aislamiento térmico que permitan disminuir la demanda de energía en calefacción a niveles que logran las viviendas con alto desempeño; teniendo siempre presente que este ahorro disminuirá en zonas climáticas de mayor exigencia para los mismos casos planteados en esta investigación.

Las emisiones de CO₂ estimadas corresponden solo a una fracción de las emisiones vinculadas al ciclo de vida de la vivienda, pues involucran solo la fase de operación y el uso de energía para calefacción. Sin embargo, es en la fase la operación donde se demanda la mayor cantidad de recursos energéticos, que para algunas viviendas, llega a representar el 89% de la energía total del ciclo de vida (Cárdenas, Muñoz, Riquelme, & Hidalgo, 2014). Así, considerando la disminución de 25,72 Kg CO₂ /m² entre los casos CB y CMPH para calefacción con GLP al año, se obtiene una mitigación de 1298,68 Kg CO₂ por año para este tipo de vivienda que, considerando una vida útil de 50 años, puede llegar a representar una disminución de aproximada de 65ton de CO₂ equivalentes.

Al contrastar la distribución de la demanda de energía en la vivienda a través del año para las modelaciones CB, CMPN y CMPH (ver figura 3), se aprecia que es el caso CMPH el que presenta menor variabilidad. Esto debe a la menor dispersión que presentan las Tim en torno a la temperatura de confort térmico para la modelación CMPH, aspecto que se evidencia al observar la desviación de la Tim en los meses de calefacción en la tabla 2. Por otro lado, y dado que la modelación estacionaria no considera la inercia térmica, es esperable que las distancias se acorten entre demandas calculadas para cada caso (curvas más achatadas).

Al observar las diferencias producidas entre la temperatura superficial del muro y la temperatura de rocío para las situaciones propuestas en la figura 4, se aprecia que las diferencias entre las temperaturas de rocío y la temperatura superficial interior del muro se acortan al disminuir la transmitancia térmica del elemento de envolvente, diferencias aún menores frente al aumento de la humedad relativa interior de 50% a 70%. Desde que la condensación superficial en un elemento de envolvente se produce cuando la temperatura superficial alcanza la temperatura de rocío, ocasionando los problemas de humedad por condensación en invierno, un mejor aislamiento térmico derivará en una mayor preocupación frente a los aumentos de humedad relativa interior, pues el riesgo de condensación en elementos de mayor transmitancia aumentará. Entonces, la preocupación por lograr uniformidad en las transmitancias térmicas, la inexistencia de puentes térmicos y el control de la ventilación para evitar la concentración de vapor se acentuarán en viviendas más aisladas térmicamente como es el caso CMPH.

Finalmente, con respecto a la definición de vivienda social, sorprende que una vivienda vulnerable pueda materializarse hasta en 140m². Lo que se muestra inviable desde que el costo por metro cuadrado definido para las viviendas de albañilería (clase C, categoría 4) en la tabla de costos unitarios por metro cuadrado definidos por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU, 2017) excede la restricción de 400UF de tasación. Esto queda evidenciado en el estudio "Vivienda social en Santiago de Chile entre los periodos 1980- 2002" (Tapia Zarricueta, 2015) donde la vivienda de mayor superficie presenta 58,1m² y se establece que el número de viviendas sociales que se instalaron y construyeron en el Gran Santiago entre esos años fue de aproximadamente 203.236 unidades con una media simple de aproximadamente 40,9m² para los casos que se cuenta información. Por tanto, suponiendo que estas viviendas no hayan sido reacondicionadas y disminuciones

de demanda por m² análogas a la vivienda de albañilería estudiada entre los casos CB y CMPN para calefacción con GLP (tabla 2), se tienen rebajas en kWh al año y CO₂ equivalentes al año de 527.834MW y 114.295 toneladas respectivamente.

CONCLUSIONES

Aunque existe un cambio no menor en los requerimientos de transmitancia térmica para los elementos de envolvente de las viviendas construidas en la Zona 3, por ejemplo, el muro pasa de un $U = 1,9$ (W/m²*K) a $U = 0,6$ U (W/m²*K); estos cambios no lograron que la vivienda estudiada presentara una demanda de energía a niveles de viviendas con alto desempeño energético (demanda menor a 15kWh/m² año). Un acondicionamiento con alto desempeño (CMPH) conllevó que prácticamente no se demandase energía para calefaccionar, donde la demanda para calefacción cayó de 119kWh/m² al año en CB a 0,8kWh/m² al año en CMPH. Pese a esto, y suponiendo un número importante de viviendas sociales en el Gran Santiago que no han sido reacondicionadas, lo ahorros energéticos y la mitigación de emisiones contaminantes al ambiente serían considerables si fueren exigibles los requerimientos presentados por la propuesta de cambio normativo.

La actual normativa y su propuesta de cambio no evidencian parámetros de transmitancia térmica uniformes. Esto propicia que las áreas de envolvente en la vivienda presenten resistencias térmicas dispares, aumentando el riesgo de condensación en aquellas superficies de menor resistencia y cuyos encuentros, esperablemente, conformen puentes térmicos; basta con mencionar la relación existente entre los valores de transmitancias térmicas en ventanas y muros para los casos modelados, donde la relación sube de 3,1 a 6 desde el caso CB al caso CMPN.

Se ratifica que el reacondicionamiento térmico aminora la demanda de energía y su variabilidad a través del año, presentando un aumento promedio de las temperaturas interiores en la vivienda que redundan en la caída del requerimiento de energía para calefaccionar en los meses más fríos del año. Lo que no fue análogo cuando se analizó la refrigeración, donde la dispersión fue mucho menor y se requirió de mayor energía para refrigerar en el caso CMPH. Sin embargo, se debe tener presente que la modelación estacionaria no considera la inercia térmica, por lo que los resultados para refrigeración debieran ser menores (hasta un 38% menor cuando la inercia térmica es importante).

Finalmente, la propuesta normativa mejoró las condiciones energéticas y térmicas en la vivienda de estudio, pero no a un nivel de alto desempeño energético como los definidos para viviendas con estándares passivhaus. Además, la propuesta de cambio normativo no evidencia preocupación por lograr uniformidad en las transmitancias térmicas de la envolvente, como tampoco prevé la inexistencia puentes térmicos o el control de la ventilación que debe acentuarse cuando las viviendas son más aisladas.

BIBLIOGRAFÍA

- bigEE - Wuppertal Institute for Climate. (Diciembre de 2012). *A Strategic Approach enables Energy-Efficient Buildings*. Obtenido de *Environment and Energy*: http://www.bigee.net/media/filer_public/2013/11/28/bigee_txt_0024_bg_a_strategic_approach_enables_energy-efficient_buildings.pdf
- Blender, M. (10 de Marzo de 2015). *Arquitectura & Energía - Portal de eficiencia energética y sostenibilidad en Arquitectura y Edificación*. Obtenido de *La Reglamentación Térmica – una mirada a 15 años de vigencia*: <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/la-reglamentacion-termica/>
- Borsdorf, A., Hidalgo, R., & Vidal-Koppmann, S. (2015). *Social segregation and gated communities in Santiago de Chile and Buenos Aires. A comparison*. *Habitat International*, 1-10.
- Brain, I., & Mora, P. (2012). *El barrio como motor del valor de la vivienda social en Chile: evidencia a partir de la Encuesta Panel de Vivienda 2010*. *Persona y Sociedad - Volume 26*, 113-145.
- Cárdenas, J., Muñoz, E., Riquelme, C., & Hidalgo, F. (2014). *Simplified life cycle assessment applied to structural insulated panels homes*. *Revista Ingeniería de Construcción*, Vol. 30, 33-38.
- CDT, C. d. (2010). *Estudio de Usos Finales y Curva de Oferta de Conservación de la Energía en el Sector Residencial de Chile*. Santiago: Corporación de Desarrollo Tecnológico CChC.
- Contraloría General de la República. (13 de Julio de 2011). *Buscador Dictámenes*. Obtenido de *Base Dictámenes*: <http://www.contraloria.cl/pdfbuscador/dictamenes/044279N11/html>
- Evangelisti, L., Battista, G., Guattari, C., Basilicata, C., & de Lieto Vallaro, R. (2014). *Analysis of Two Models for Evaluating the Energy Performance of Different Buildings*. *Sustainability*, 5311-5321.
- Hernández, H. (2016). *Análisis Energético de una Vivienda*. *Ingeniería al Día*, 46-50.
- Hernández, H., & Meza, L. (2011). *Propuesta de una metodología de certificación de eficiencia energética para viviendas en Chile*. *Revista de la Construcción*, Volumen 10, 53-63.
- Lavigne, P. (2003). *Arquitectura climática: una contribución al desarrollo sustentable*. Talca: Universidad de Talca.
- MINVU. (2014). *Serviu - Vivienda*. Obtenido de *Propuesta de actualización de la Reglamentación Térmica, artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones*: http://xi.serviu.cl/vivienda/ANEXOS%20CONCURSO/NTM%2011_2.pdf
- MINVU. (7 de Abril de 2017). *Mercado Público*. Obtenido de *Licitación ID: 3499-2-LR17* : <http://www.mercadopublico.cl/Procurement/Modules/RFB/DetailsAcquisition.aspx?q=F0hstBE7hbS/XcPzZRgeWQ==>
- MINVU. (9 de Enero de 2017). *Tabla de Costos Unitarios*. Obtenido de *Tabla de Costos Unitarios por Metro Cuadrado de Construcción*: http://www.minvu.cl/opensite_20080311104413.aspx
- Passivhaustrust. (2016). *The UK Passive House Organisation*. Obtenido de *Projects - Lansdowne Drive*: <http://www.passivhaustrust.org.uk/projects/detail/?cld=77#.Whsk47pFz8W>
- Rey, F., & Velasco, E. (2006). *Eficiencia energética en edificios*. Madrid: Thomson Editores Spain.
- Sarricolea Espinoza, P., & Martín-Vide, J. (2014). *El estudio de la Isla de Calor Urbana de Superficie del Área Metropolitana de Santiago de Chile con imágenes Terra-MODIS y Análisis de Componentes Principales*. *Revista de Geografía Norte Grande*, 123-141.
- Tapia Zarricueta, R. (2015). *Vivienda social en Santiago de Chile. Análisis de su comportamiento locacional, período 1980- 2002*. *Revista INVI*, Volume 26, 105-131.
- Yang, L., Yan, H., & Lam, J. (2014). *Thermal comfort and building energy consumption implications – A review*. *Applied Energy - Volume 115*, 164-173.
- Yau, Y., & Hasbi, S. (2013). *A review of climate change impacts on commercial buildings and their technical services in the tropics*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews - Volume 18*, 430-441.

APLICACIONES DE LA **VARIANZA DE ESTIMACIÓN** EN GEOESTADÍSTICA

Rolando Carrasco, Escuela de Minería y Recursos Naturales





INTRODUCCIÓN

En términos generales se define a la Geoestadística como el estudio estadístico de fenómenos naturales, los cuales se caracterizan por la distribución en el espacio de las denominadas variables regionalizadas. Su desarrollo conceptual y formulación matemática se debe al profesor George Matheron de la Escuela Nacional Superior de Minas de Paris, Francia (1).

Un ejemplo de variable regionalizada que encontramos en la naturaleza, son las leyes de mineral en un yacimiento minero, tales como leyes de cobre, oro, plata, etc. Otro ejemplo es la densidad de árboles medido en una región boscosa, o la temperatura del mar, entre muchos otros.

El objetivo de este artículo no es presentar la formulación matemática de sus conceptos en forma rigurosa, sino más bien mostrar algunos ejemplos de sus aplicaciones, en particular el de la varianza de estimación.

En forma previa a definir la varianza de estimación, es necesario introducir el concepto de variograma, que es una herramienta base para el estudio de la distribución de una variable regionalizada en las distintas direcciones en el espacio, y que se define por la expresión:

$$\gamma(\bar{h}) = \frac{1}{2} E \left[\left(Z(x + \bar{h}) - Z(\bar{x}) \right)^2 \right]$$

En donde $Z(x)$ es el valor de la variable en el punto x y $Z(x+h)$ es el valor que toma esta variable en el punto $x+h$.

En la práctica esta función se calcula como el promedio de las diferencias de los valores de la variable en estudio, separadas a una distancia h , para una dirección dada en el espacio, y representa el mayor o menor grado de regularidad de la variable en el espacio. De esta forma se puede obtener una representación gráfica del variograma y ajustarle un modelo de tipo teórico, tal como se muestra en la *figura 1*:

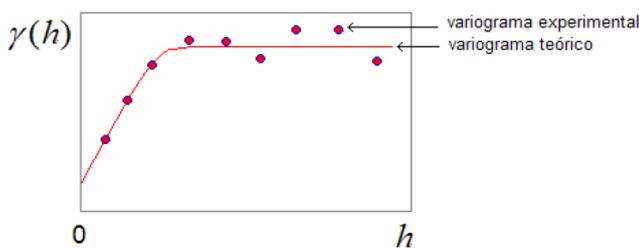


FIGURA 1

Variograma experimental y modelo teórico ajustado

LA VARIANZA DE ESTIMACIÓN

Se define el error de estimación como la diferencia entre un valor \hat{z}_V estimado y el valor verdadero z_V de una variable regionalizada:

$$\varepsilon = \hat{z}_V - z_V$$

En donde el valor estimado se calcula como una combinación lineal de los datos conocidos:

$$\hat{z}_V = \alpha_1 z(x_1) + \alpha_2 z(x_2) + \dots + \alpha_N z(x_N)$$

Y donde $\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_N = 1$ (condición de estimador insesgado)

Conforme a las definiciones anteriores, se demuestra que la varianza de estimación se puede expresar mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma_E^2 = 2 \sum_{i=1}^N \alpha_i \frac{1}{V} \int_V \gamma(x_i, x) dx - \frac{1}{V^2} \iint_V \gamma(x, y) dx dy - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \alpha_i \alpha_j \gamma(x_i, x_j)$$

De esta expresión se observa que σ_E^2 depende de:

- N es decir, el número de datos
- x_i es decir, las coordenadas de los datos
- V es decir, la geometría y el tamaño del bloque o zona V
- el variograma $\gamma(h)$ es decir, de la regularidad o irregularidad de las leyes
- los ponderadores α_i , es decir, del método de estimación

De acuerdo a estas propiedades de la varianza de estimación, se infieren algunas aplicaciones en la minería que se señalan a continuación.

APLICACIONES DE LA VARIANZA DE ESTIMACIÓN A CASOS PRÁCTICOS EN MINERÍA

Rolando Carrasco, Escuela de Minería y Recursos Naturales.

Ingeniero Civil en Minas, Universidad de Chile
DEA, Escuela Nacional Superior de Minas de Paris, Francia.

A.-Varianza de Krigeado

En términos mineros, el krigeado consiste en encontrar la mejor estimación lineal insesgada de la ley de un bloque o de un volumen V , considerando la información disponible. En otras palabras, se trata de resolver un sistema de ecuaciones mediante el cual se determinan los ponderadores α_i , cuando se estima el valor de una variable como una combinación lineal del tipo $ZV = \sum \alpha_i z(x_i)$, y lo que es más importante bajo la condición que la varianza de estimación σ_E^2 sea mínima (método de Lagrange).

Este es el principal método de la Geoestadística para asignar valores de leyes a bloques de volumen V a partir de un set de datos conocidos, como por ejemplo los sondajes de reconocimiento minero.

En la siguiente *figura 2* se presenta la distribución de leyes de cobre estimadas por Krigeado, en un modelo de bloques.

B.- Plan de reconocimiento por sondajes mineros

Cuando se realiza una campaña de sondajes para el reconocimiento del potencial de un yacimiento minero, el cálculo de la varianza de estimación - aplicado en forma global - nos indica en qué lugares se deben realizar nuevos sondajes, de modo de cumplir con las expectativas mínimas exigidas para esta varianza de estimación. A medida que se materializan más sondajes y en lugares elegidos, la varianza de estimación disminuye. En la *figura* siguiente se presentan alternativas de sondajes ubicados en los puntos X_i , para estimar la ley del volumen V con un error asociado a dicha distribución.

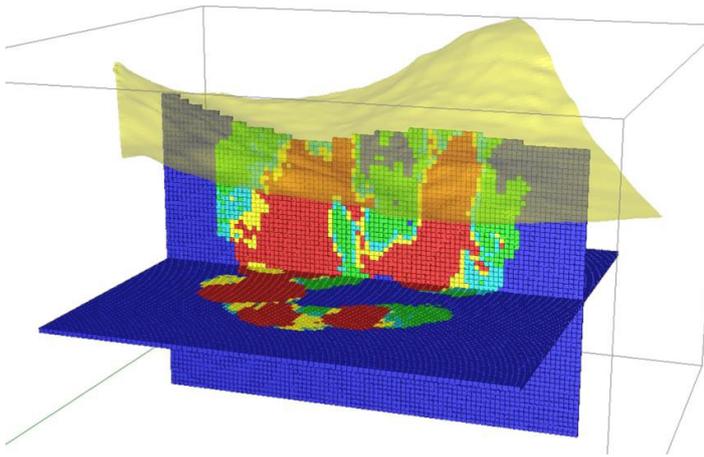


FIGURA 2

Distribución de leyes de cobre estimadas por kriging.

C.- Cálculo del error de estimación de planes mineros

Este método se basa en calcular, la varianza del error de la ley media del conjunto V , unión de n bloques (figura 4), en que cada bloque ha sido krigiado:

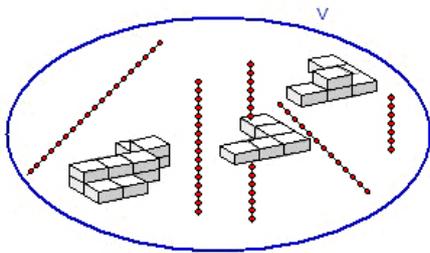


FIGURA 4

Compósitos y bloques.

Luego, el estimador de la ley media de la zona V (que es el conjunto de todos los bloques que se extraerán mediante el plan minero para un periodo dado) corresponde a una combinación lineal de las leyes de los datos. Por consiguiente se puede aplicar la fórmula clásica, fundamental de la geoestadística, para calcular la varianza del error de estimación a nivel global, tanto de la ley media como del volumen total a extraer.

De este modo, podemos afirmar, con una buena confianza, que el error de estimación es del orden de $\pm 2\sigma$ con un 95% de confianza, lo que es altamente atractivo a la hora de evaluar económicamente distintos planes mineros.

COMENTARIOS FINALES

Como hemos visto, la Geoestadística es una herramienta potente en el área de estimación de recursos mineros y su aplicación ha sido integrada a diferentes softwares que se encuentran en el mercado. El beneficio es que nos permite cuantificar el grado de exactitud con el que estamos evaluando los recursos mineros y por lo tanto saber en qué rangos de leyes, tonelajes y contenido de metal fino nos estamos moviendo en la industria minera.

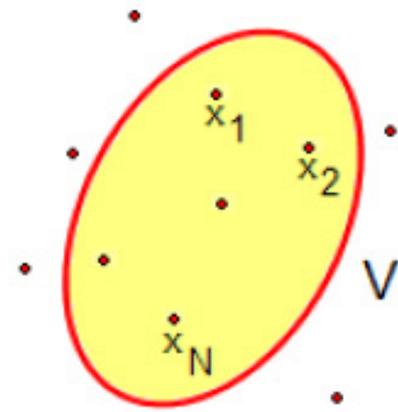


FIGURA 3

Definición de malla de sondajes para estimar la ley en V .

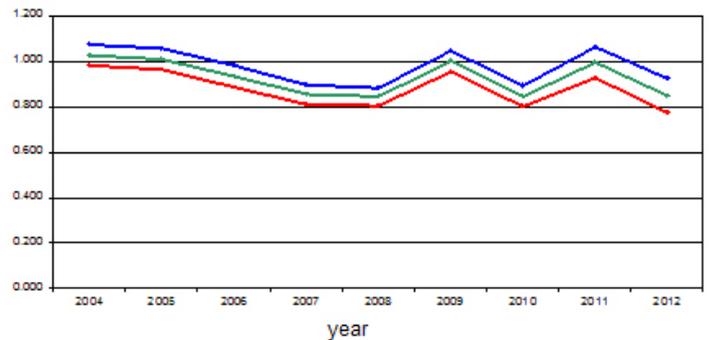


FIGURA 5

Error de la ley media por año de la producción de un yacimiento.

Estos métodos pueden ser una herramienta de apoyo en la evaluación de proyectos, analizando la variabilidad esperada del flujo económico y de la rentabilidad, utilizando el método de Montecarlo.

(1) G. Matheron: *La Teoría de las Variables Regionalizadas y sus Aplicaciones*. Traducción al español por M. Alfaro, Escuela Nacional Superior de Minas de París (ENSMP), 2005.

(2) R. Carrasco, M. Alfaro: *Clasificación de Reservas Mineras*, Terceras Jornadas Argentinas de Ingeniería de Minas, San Juan, 1986.

(3) R. Carrasco: *Selección de una Malla de Sondajes en Función de la Ley de Corte de Mineral*. 40 Convención del Inst. de Ing. de Minas de Chile. Vol.1. Oct. 1989, Antofagasta.

(4) M. Alfaro: *Calcul de l'erreur des plans miniers*. Journées de Géostatistique. ENSMP, París, 2005.



UNA APROXIMACIÓN AL PENSAMIENTO COMPLEJO EN EL DESARROLLO DE LA GEOLOGÍA, LA MINERÍA Y LA METALURGIA

Orestes Gómez *Escuela de Minería y Recursos Naturales*

INTRODUCCIÓN

En los inicios de la civilización humana, el hombre en su continuo desarrollo, comenzó a utilizar los minerales para interactuar con el medio, así nacieron las primeras herramientas, primero las utilizó tal y como las encontraba (pedazos de rocas duras que utilizó como cuchillos, martillos, mazas, hachas de mano, puntas de lanzas y flechas, molinos, vasijas, asientos, yunques, etc., [Paleolítico]), luego aprendió a darles formas más apropiadas para su uso [Neolítico].

Estas herramientas rudimentarias las encontraba casualmente en su andar nómada, luego fijó los lugares donde sabía que podía encontrarlas con facilidad. Este período conocido como la "Edad de Piedra" sentó las bases para la utilización de los minerales por el hombre, para mejorar su bienestar y facilitar su vida en el medio hostil donde se desarrolló.

La utilización o incorporación de la agricultura como medio de subsistencia, trajo como consecuencia la necesidad de desarrollar mejores herramientas, constituidas de materiales más resistentes, así el hombre aprendió a utilizar primero el cobre, después el bronce, el hierro, el oro y la plata, fundamentalmente.

Las grandes civilizaciones prehistóricas como la sumeria, la babilónica, la china, la azteca, la maya, la inca y la egipcia, desarrollaron la búsqueda de minerales metálicos y no metálicos, la minería y la metalurgia del cobre, el bronce, el hierro, el oro y la plata, además de la utilización de aleaciones con antimonio, arsénico, estaño, etc.

La minería ha sido siempre una actividad productiva ligada a la historia económica, social y cultural de los pueblos, por lo que se puede afirmar, sin temor a equívocos, que el hombre ha sido minero desde los albores de la humanidad. Podemos decir que la MINERÍA propiamente dicha comenzó, por lo menos en Europa, hacia el final de la Edad Neolítica, entre el 2.800 a. C al 2.300 a. C.

El uso, cada vez más extendido e inevitable, de los minerales metálicos y no metálicos por las distintas civilizaciones humanas, de antes y después de nuestra era, trajo como resultado la necesidad de sistematizar los métodos de prospección y exploración de los depósitos o yacimientos minerales, así como mejorar las tecnologías para su explotación, beneficio y utilización.

En el año 1530, los españoles abrieron Mina Grande El Cobre, en la actual provincia de Santiago de Cuba, y según los reportes de la época, ya en ese tiempo se explotaban solo las bonanzas minerales, significativo esto de una selectividad minera incipiente y una necesidad económica de hacer rentable dicho negocio.

En todo el "Nuevo Mundo" los colonizadores comenzaron un proceso depredador de nuestros recursos minerales y ya a finales del siglo XVI existían minas en casi todas las colonias, nuestra minería tiene todo un historial de sangre y lágrimas que dejó innumerables víctimas bajo la tierra.

Las guerras en Europa por el control de las Américas propició el desarrollo de la minería no solo en América, en las colonias de África y Asia, las metrópolis europeas se lanzaron a una desenfrenada lucha por el control de los depósitos de oro, plata, hierro y cobre, fundamentalmente.

Con el advenimiento de la Revolución Industrial se hizo necesario producir más, en menor tiempo y a bajo costo, nació así el capitalismo y con él la necesidad de conocer, con mucha más precisión y exactitud, la ubicación, la forma, así como la cantidad y calidad de los minerales de interés en los depósitos minerales, compulsado esto por un factor netamente económico, que dio al traste con el surgimiento de especialistas en esta materia y el estudio de la Geología como ciencia, de una forma sistematizada, en los centros de enseñanza superior europeos.

El empleo del carbón en las máquinas de vapor requirió la búsqueda sistemática de mayores reservas, de este valioso mineral que tuvo una intervención directa en el desarrollo del capitalismo y la vida moderna. Así surgen y se hacen imprescindibles los métodos de estimación de recursos minerales que hoy conocemos como "Métodos Tradicionales", basados estos en la adecuación de los modelos geológicos a figuras geométricas conocidas como el Cubo, la Pirámide y los Polígonos, la estadística matemática se hace presente para la estimación, a partir de un muestreo aleatorio, de las cantidades y calidades de las materias primas bajo estudio.

En la década del 60 del siglo pasado surge, como parte del pensamiento complejo en las Geociencias y como colofón a los trabajos de investigación del ingeniero Georges François Paul Marie MATHERON, catedrático de la Escuela de Minas de París, la "teoría de la variable regionalizada" y la Geoestadística como ciencia.

A partir de ese momento la estimación de los recursos minerales sólidos se hizo compleja en extremo y con el surgimiento de los ordenadores todos los aportes en el campo de la Geoestadística se incorporaron a los llamados "Métodos Automatizados de Estimación de Recursos" que han llegado a constituirse parte esencial, en la culminación de las fases de prospección y exploración geológica.

El año 2008 fue declarado por la ONU "Año Internacional de las Ciencias de la Tierra para la Sociedad, esta iniciativa estuvo enmarcada en un trienio que culminó en el 2009, año en que se celebró la III Convención de Ciencias de la Tierra en Cuba. En este evento se patentizó la necesidad de hacer conciencia mundial para la protección del medio ambiente y el uso racional y social de las materias primas minerales que solo son renovables en la escala de tiempo geológico. Es responsabilidad de los científicos convertir a estas ciencias en parte relevante de la cultura de la naturaleza, algo que todos debemos asumir con responsabilidad y ética, para lograr un mundo mejor, un mundo para los seres humanos, no de ricos y pobres, explotados y explotadores.

Con este trabajo queremos hacer una reseña histórica que demuestra como el ser humano ha convertido el uso de los minerales, que una vez fueron portadores de su desarrollo, en un medio de explotación y enriquecimiento de los más poderosos, en detrimento de la naturaleza, provocando el deterioro del sistema Tierra.

Es necesario crear una conciencia sociopolítica global sobre la importancia de proteger y usar racionalmente nuestros recursos minerales, como un nuevo paradigma esencial para la supervivencia de las generaciones presentes y futuras.

Historia del pensamiento geológico Desde la antigüedad hasta la Edad Media

F. Gohier/Photo Researchers, Inc.

Los pueblos antiguos consideraban muchas características y procesos geológicos como obra de los dioses. Observaban el entorno natural con miedo y admiración, como algo peligroso y misterioso. Así, los antiguos sumerios, babilonios y otros pueblos, pese a realizar descubrimientos notables en matemáticas y astronomía, erraban en sus investigaciones geológicas al personificar los procesos geológicos. Estos mitos también eran corrientes en las civilizaciones del Nuevo Mundo; por ejemplo, los pueblos indígenas americanos pensaban que los surcos en los flancos de lo que se llegó a conocer como Torre del Diablo en Wyoming eran las huellas de las garras de un oso gigante.

Aristóteles, uno de los filósofos de la naturaleza más influyentes de todos los tiempos, descubrió en el siglo IV a.C. que las conchas fósiles encajadas en estratos de roca sedimentaria eran similares a las encontradas en las playas. Con esta observación supuso que las posiciones relativas de la tierra y del mar habían fluctuado en el pasado y comprendió que estos cambios requerirían grandes periodos de tiempo. Teofrasto, discípulo de Aristóteles, contribuyó al pensamiento geológico escribiendo el primer libro de mineralogía "De las piedras".

EL RENACIMIENTO

El Renacimiento marcó el verdadero inicio del estudio de las ciencias de la Tierra; la gente empezó a observar los procesos geológicos mucho más que los griegos clásicos lo hicieron. Si Leonardo da Vinci no fuera tan conocido como pintor o ingeniero, lo sería como pionero de las ciencias naturales. Se dio cuenta, por ejemplo, de que los paisajes están esculpidos por fenómenos de erosión, y de que las conchas fósiles de las piedras calizas de los Apeninos eran los restos de organismos marinos que habían vivido en el fondo de un mar antiguo que debía de haber cubierto Italia.



Georgius Agricola

Georg Bauer (1494-1555), más conocido por su nombre latinizado de Georgius Agricola, es considerado el fundador de la mineralogía.

Después de Leonardo, el filósofo naturalista francés Bernard Palissy escribió sobre la naturaleza y el

estudio científico de los suelos, de las aguas subterráneas y de los fósiles. Los trabajos clásicos sobre minerales de este periodo fueron escritos, sin embargo, por Georgius Agricola, un alemán experto en mineralogía que publicó *De Re Metallica* (1556) y *De Natura Fossilium* (1546). Agricola recopiló los desarrollos más recientes de geología, mineralogía, minería y metalurgia de su época; sus trabajos fueron traducidos con profusión.

Siglo XVII

Niels Stensen, un danés más conocido por la versión latina de su nombre, Nicolaus Steno, sobresale entre los geocientíficos del siglo XVII. En 1669 demostró que los ángulos interfaciales de los cristales de cuarzo eran constantes, con independencia de la forma y del tamaño de los cristales y que, por extensión, la estructura de otras especies cristalinas también sería constante. Así, al llamar la atención sobre el significado de la forma de los cristales, Steno sentó las bases de la ciencia cristalográfica. Sus observaciones sobre la naturaleza de los estratos de roca le llevaron a formular la ley de la superposición, uno de los principios básicos de la estratigrafía (ver más adelante).

Siglos XVIII y XIX

El pensamiento geológico del siglo XVIII se caracterizó por los debates entre escuelas opuestas. Los plutonistas, que proponían que todas las rocas de la Tierra se solidificaron a partir de una masa fundida y que luego fueron alteradas por otros procesos, se oponían a los neptunistas, cuyo principal exponente fue el geólogo alemán Abraham Gottlob Werner. Werner proponía que la corteza terrestre consistía en una serie de capas derivadas de material sedimentario depositadas en una secuencia regular por un gran océano, como en las capas de una cebolla. Por el contrario, el geólogo escocés James Hutton y los plutonistas, como eran llamados sus seguidores, distinguían las rocas sedimentarias de las intrusivas de origen volcánico.

Según la leyenda, las columnas de basalto de la Calzada de los Gigantes eran antiguas piedras utilizadas por los gigantes para cruzar el canal entre Irlanda y Escocia. Según evidencias geológicas, los científicos creen que las distintas columnas se formaron durante la fase de enfriamiento y contracción de una corriente de lava. La teoría de la tectónica de placas explica cómo se forman las montañas con las fuerzas que modelan la corteza terrestre.

Las grandes piezas de corteza se desplazan lateralmente. Esto crea grandes fuerzas de compresión que pliegan y llegan a romper las rocas. Estas capas de roca sedimentaria muestran un pliegue anticlinal en el que las capas se doblan hacia abajo.

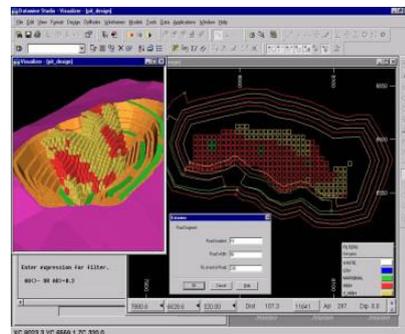
Siglo XX

Los avances tecnológicos de este siglo han suministrado herramientas nuevas y sofisticadas a los geólogos y les han permitido medir y controlar los procesos terrestres con una precisión antes inalcanzable. En su teoría básica, el campo de la geología experimentó una gran revolución con la introducción y el desarrollo de la hipótesis de la tectónica de placas que establece que la corteza de la Tierra y la parte superior sólida del manto se divide en varias placas que se mueven, chocan o se alejan en intervalos geológicos. La litosfera que constituye las placas se forma en las zonas de borde constructivo de placas, que son las dorsales de los centros de algunas cuencas oceánicas y los valles en rift de áreas continentales. Esa litosfera se destruye por fusión en el manto en los bordes destructivos o zonas de subducción, donde una placa se introduce por debajo de otra formando cordilleras y zonas volcánicas. Los lugares de la Tierra donde se producen los grandes terremotos tienden a situarse en los límites de estas placas sugiriendo que la actividad sísmica puede interpretarse como el resultado de movimientos horizontales de éstas.

INTRODUCCIÓN DEL PENSAMIENTO COMPLEJO EN LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS

En la década de 1950, **Danie G. Krige** (Daniel Gerhardus Krige) nacido en el Estado Libre de Orange en Sudáfrica, comenzó sus investigaciones en el campo de las aplicaciones estadísticas para la estimación de recursos, cálculo de reservas, control de la ley minera y su reconciliación. Los trabajos empíricos de Krige para evaluar reservas mineros fueron formalizados en la década de 1960 por el ingeniero francés Georges Matheron, quien desarrolló la teoría de la Variable Regionalizada e implemento la técnica denominada, en el campo de la geoestadística, Krigeage (en Ingles Kriging).

La cantidad de reservas de un yacimiento, como uno de los factores principales que determinan su viabilidad económica, posee una gran influencia en la vida útil del yacimiento, su producción anual y la decisión final de construir la empresa minera. Los distintos métodos de estimación de recursos que se emplean en la actualidad son definidos por los principios de interpretación empleados y las técnicas de interpolación espacial. Así tenemos los métodos clásicos de cálculos, desarrollados y utilizados desde los principios de la minería hasta nuestros días, que se basan en procedimientos manuales y donde los principales parámetros son estimados a partir de la media aritmética y la media ponderada. Por otra parte, los métodos asistidos por computadoras que incluyen el método de ponderación por el inverso de la distancia y los geoestadísticos y que se fundamentan en procedimientos matemáticos de interpolación definidos a partir de información espacial y estadística presente en los datos. Estos métodos surgieron con el desarrollo de las computadoras.



Sólido 3D del yacimiento Mariel, Cuba y diseño de cantera con modelo de bloques de recursos de un depósito de oro en Chile, (O. Gómez, 2007).

Actualmente con la disponibilidad de computadoras y software a precios accesibles existe una tendencia en las empresas mineras y las organizaciones gubernamentales al empleo de métodos computarizados en detrimento de los métodos clásicos.

Por lo anteriormente expuesto queda claro que la estimación de recursos es de vital importancia para el éxito de una inversión minera, por lo que las estimaciones de la ley y el tonelaje deben ser lo más confiable posible a partir de las muestras disponibles, la calidad de los análisis y la definición de los controles geológicos de la mineralización, (E. Estevez, 2007).

EVOLUCIÓN DE LA MINERÍA Y LA METALURGIA

Desde el principio de la historia el desarrollo de la minería y la metalurgia corre parejo con la evolución del pensamiento y con el desarrollo de la cultura en todas las demás formas de la actividad humana. Así vemos que cuando aparece el interés por las piedras preciosas se acrecen los conocimientos astronómicos y se perfeccionan las formas de escritura; que el descubrimiento de nuevos minerales metálicos y nuevas aleaciones coincide con la alquimia y la industrialización agrícola, todavía manufacturera; que al perfeccionamiento de la alfarería sigue el desarrollo de la escultura y de la pintura, etc.

Los hombres, desde los más remotos tiempos, habían tenido ya en gran aprecio muchos minerales por su transparencia, espléndido color y dureza; y los que reunían en más alto grado tales propiedades, los mismos que aun hoy tienen gran valor como piedras preciosas, fueron entre aquellas gentes considerados como algo sobrenatural y su posesión era apreciada mucho más que la del oro y la plata; se les atribuía la propiedad de preservar al hombre de las enfermedades graves y librarlo de los espíritus maléficos. Heródoto, 450 años antes de Jesucristo, menciona el aceite mineral de Zanta en el mar Jónico.

Primero las piedras preciosas y después lingotes de metal y de aleaciones, fueron usados como moneda, pero desde unos 400 años antes de Jesucristo, se empezó a usar la moneda acuñada entre los persas, asirios, fenicios, griegos y egipcios, lo que contribuyó notablemente a desarrollar el comercio y las comunicaciones.



Escuela de Atenas, Scala/Art Resource, NY

En la célebre Escuela de Atenas (1510-1511), fresco pintado por Rafael en el Vaticano, aparece Aristóteles departiendo con su maestro Platón (en el centro).

Aristóteles, discípulo de Platón y padre de la Historia Natural, resumió en sus libros lo que se sabía en su tiempo (350 años antes de Jesucristo), acerca de los minerales. Él los dividió en "térreos", "pétreos" y "metálicos". Teofrasto, discípulo de Aristóteles, publicó un trabajo sobre las piedras preciosas y llamó la atención sobre las formas geométricas de los minerales.

Entre los siglos V y VI se inició la explotación racional de los minerales en Sajonia y en Bohemia y durante la edad media, los conocimientos mineralógicos pasaron al dominio de la Alquimia (la química de los árabes). Al iniciarse el siglo XI apareció publicada en Córdoba (España) la primera clasificación racional de los minerales; fue establecida por

el médico árabe Avicena, quien los dividió en: "piedras" (infusibles), "metales" (fusibles), "azufres" (combustibles) y "sales" (solubles en agua y sápidos). En el siglo XIII otros dos sabios árabes, Averroes y El Edrisi, se ocuparon en el estudio de los fenómenos geológicos y de los minerales. Hacia mediados del siglo XIII apareció en Alemania el primer notable tratado de Mineralogía, debido al fraile alquimista Alberto Magno, y por ese mismo tiempo se había publicado en España el "Lapidario" de Mahomed Aben Quch.

Estado de la minería en América al tiempo del descubrimiento: Parece que fue al final de la edad neolítica o a mediados de la edad de los metales (hace unos diez mil años) cuando entraron en América los primeros hombres, procedentes del norte de Asia. La mayor parte de las tribus americanas no pasó nunca de una vida de cazadores nómadas. No descubrieron el uso del hierro y su principal riqueza metálica fue el oro y el cobre nativos.

Ni los Incas, ni los Mayas, ni los Aztecas conocían la pólvora, ni tenían herramientas de hierro, así es que para desagregar las rocas en la mina utilizaban el fuego, y para golpearlas y separar el mineral de la ganga, usaban mazas e instrumentos de piedra y de bronce.

En materia de alfarería y en el trabajo de la piedra, lo mismo en construcción que en escultura y lapidaria, eran muy adelantados estos pueblos. El oro, la plata y las piedras preciosas, eran objeto de principal explotación porque se servían de ellos en bruto para el comercio y para el pago de tributos al emperador. Seguían en importancia la explotación del cobre y el estaño y la preparación del bronce, porque con esta aleación fabricaban armas y herramientas, y con el cobre sin liga hacían muchísimos objetos.

Como no conocían el mercurio, extraían el oro de los terrenos sueltos de aluvión (placeres) por medio del lavado, valiéndose de la mayor densidad del metal; así recogían también los granos de casiterita; pero además explotaban el oro de veta, lo mismo que los filones de plata, plomo, cobre y estaño, por medio de labores a cielo abierto (superficiales) o auxiliándose del fuego para hacer tajos en la roca mineralizada. No descubrieron o no supieron explotar los criaderos de minerales de hierro, pero aprovecharon los de azufre, ocre y una tierra blanca (¿kaolín?) que estimaban en alto grado. Con el ámbar, que abundaba en la costa de los dos mares, engarzándolo en oro, llegaron a producir objetos de adorno, tan curiosos y originales como variados y artísticos.

El asfalto, que encontraban en las mismas costas, les servía para la fabricación de ciertos perfumes. En varios lugares del territorio encontraron y supieron utilizar en su ornamentación el cristal de roca, las amatistas, los jaspes y calcedonias, refritas y cornerina, obsidias, ágatas y ópalos. Por último, de algunas regiones se recibían en la corte, como tributos, esmeraldas, ojos de gato, turquesas, granates, topacios y "unas piedras verdes semejantes a las esmeraldas y poco inferiores a ellas", los berilos. Resulta, pues, indiscutible, que para el estado de cultura de aquella época y teniendo en cuenta el aislamiento en que habían vivido del resto del mundo, los aztecas habían llegado a realizar notables adelantos en la explotación de los minerales y en la fundición de los metales.

CULMINACIÓN ACTUAL DE LA MINERÍA

Mientras transcurría la conquista y colonización de América y durante los cinco siglos y medio transcurridos hasta ahora, todo progreso material de la humanidad está definitivamente ligado al aprovechamiento de las sustancias minerales, y aun podríamos decir más sin equivocarnos que el desarrollo del hombre es dependiente de la transformación y utilización de los minerales.

Es así como la industria minera culmina en estos momentos con la obtención de numerosos metales raros para destinarlos a aplicaciones muy diversas; con la producción de un sin número de aleaciones utilísimas, (A. Calvache, 1944).

MINERALES PARA EL FUTURO: UNA REVOLUCIÓN PARADIGMÁTICA DEL PENSAMIENTO COMPLEJO.

En el comienzo de la civilización humana, el hombre usó los minerales para convertirlos en herramientas, bienes de consumo, armas para defenderse y cazar animales de los que se alimentaba, con el surgimiento de la agricultura creó herramientas agrícolas cada vez más eficientes para aumentar la productividad y garantizar alimentos para todos los miembros de la tribu/aldea y lograr la supervivencia de la raza humana.

Después con el advenimiento de la prosperidad de las aldeas – comercio – ciudades estados, surgió la propiedad privada y el deseo de controlar los depósitos minerales, porque esto entrañaba poder sobre los que no poseían recursos minerales, pero los necesitaban para poder sembrar, cazar, vivir, crear, construir, defenderse. El hombre salió de la comunidad primitiva, donde todos trabajaban para todos, y surgió el esclavismo, que devino en feudalismo – capitalismo – imperialismo – imperialismo globalizado.

Cada día el deseo del hombre de controlar los recursos naturales y fundamentalmente los minerales, ha puesto más a la ciencia y la tecnología, en función de mejorar los métodos de búsqueda y exploración mineral y además potenciar la tecnología de cómo convertir los minerales, fundamentalmente metálicos, en armas de guerra cada vez más mortíferas, para aumentar su control sobre los recursos minerales, naciones enteras fueron borradas de la faz de la tierra con el único objetivo de robar sus riquezas minerales, recordemos que cuando los españoles llegaron a América, encontraron pueblos y ciudades magníficas, pobladas por nuestros antepasados americanos, obras de arte fueron fundidas para llevarse el oro que pagaba los desatinos de las metrópolis, civilizaciones enteras fueron convertidas en esclavas de otras que solo querían poder, gloria y dinero.

Cada día más, los minerales dejan de constituir una fuente de subsistencia y de vida, para convertirse en el germen de la muerte, el hambre, la opresión y la incompreensión entre los hombres que poblamos la tierra, nuestra tierra madre es desangrada, supuestamente con el interés de crear bienestar humano, cuando en realidad las grandes metrópolis que controlan el mercado de las materias primas minerales solo quieren ser más ricas cada día, sin importar lo que realmente debe importar, "...el uso racional y sustentable de los recursos minerales que de hecho son "no renovables"...", si los vemos en el contexto del lapso de la vida humana.

Es necesario que los seres humanos dejen de explotar los recursos minerales, solo para ganar dinero y pongan su esfuerzo y recursos por explotarlos para satisfacer las necesidades cada día más crecientes de los pueblos, de los hombres y las mujeres.



Bolsa de Nueva York, Wesley Bocxe/Photo Researchers, Inc.

La ciudad de Nueva York sirve de centro para el comercio internacional y las industrias financieras, y forma con Tokyo y Londres el triángulo de los principales centros financieros.

Las grandes naciones imperialistas, aunque en realidad debíamos decir, los grandes monopolios imperialistas del mundo, usan los precios de los minerales en las bolsas mundiales para chantajes políticos, destruir gobiernos, saquear naciones, destruir el medio ambiente de otros pueblos, porque es más rentable explotar los recursos de países subdesarrollados, que no tiene leyes fuertes que protejan sus ambientes, frente a la voracidad de las colosales maquinarias mineras de la actualidad.

La producción de oro se ha prostituido a tal nivel, que las empresas mineras del mundo solo les importa financiar proyectos para explotar ese recurso, soslayando buenos proyectos para explotar otros minerales que en realidad son más útiles para el ser humano. Si comparamos el uso de oro en la industria, contra el uso del cobre, el aluminio, el hierro, los materiales de construcción, etc., nos encontraríamos con la triste realidad de que es ínfimo, en comparación con el de los otros, el oro ha convertido a hombres en amos del resto del mundo y ha convertido a esos hombres en esclavos del oro. La mayor parte del oro va a parar a las bodegas de los bancos, para quedar allí, improductivo, inerte y estéril.

El 80 % de las materias primas minerales se saca de los países del llamado tercer mundo donde vivimos el 80 % de la población mundial y va a parar en un 80 % a las potencias ricas donde se las dilapida, en una sociedad cada vez más consumista, que constituye tan solo el 20 % de los seres humanos que poblamos el planeta.

Cada día el hombre pobre lucha por recuperar el oro de la tierra, destruyendo su propio ambiente, la tierra madre, como dice Morin, "... el planeta Tierra es nuestra patria, nuestra casa (home, heimat), nuestra patria, nuestra Tierra-Patri. Poseemos una "ciudadanía terrestre" y una "comunidad de destino terrestre"... (Morin 1993: 225).



Cada día hay más ríos contaminados con arsénico y cianuro usados, sin control, para la lixiviación y amalgamación del pirríco oro que es extraído con métodos arcaicos, por hombre que viven en el límite más exiguo de pobreza.

Baste decir que para que un depósito sea explotado en la actualidad, es necesario hacer primero un Estudio de Factibilidad Técnico – Económica, donde los seres humanos solo somos un recurso necesario más, que forma parte de los costos de operación, visto de otro modo, explotamos los minerales no para el buen vivir, lo hacemos porque es un buen negocio, pero ¿Quién se beneficia realmente de esto?, los "recursos humanos" o los que pagan salarios de miseria a los llamados "recursos humanos", por obtener su fuerza de trabajo. En términos reales, el "recurso humano" no es un fin, es solo un medio para obtener riquezas, que no siempre sirven a esos "recursos humanos".

¿Es realmente ético y moral, la forma en que practicamos las ciencias de la tierra, la forma en que evaluamos si es viable o no, la explotación de un recurso mineral?. Será realmente moral y ético cuando lo que decida sea la necesidad que tienen los hombres y las mujeres de ese recurso para vivir, y no la cantidad de dinero que se ganará por una empresa debido a su explotación.

¿Realmente ponemos nuestros empeños en proyectos mineros para la explotación de las materias primas, que daría al traste con el buen vivir humano? No lo hacemos, priorizamos los proyectos más lucrativos, como son los de oro, plata, diamante, coltan, u otro mineral que se cotice bien alto en las bolsas mundiales. Practicamos la Geología, la Minería y la Metalurgia de la codicia, de las pasiones por invertir el dinero para crear más dinero, nos hemos convertido en presas del dinero, después de haber sido quienes lo creamos.

Hasta donde y hasta cuando, nuestra tierra madre resistirá el embate desmedido por arrebatarle sus riquezas, con que las grandes, medianas y chicas naciones, justifican la carrera por un “desarrollo”, que nunca llega para los más necesitados, los más desvalidos, cuando inmensos recursos minerales, son destinados a hacer más ricos a los ricos, a construir más aviones, tanques, fusiles, bombas y toda clase de máquinas de muerte para aumentar su control sobre los pocos recursos que nos van quedando, en oposición a la necesidad de construir más viviendas, más puentes, industrias, hospitales, carreteras, tendidos eléctricos y plantas de generación, medios de transporte, que sustenten la vida, que sirvan para crear cada día más vida y no más muerte.

Pero si bien por una parte los países desarrollados han cambiado su forma de pensar en cuanto a la protección de sus recursos, visualizando la necesidad de proteger su medio ambiente, han optado por sancionar leyes muy rigurosas para garantizar que se mantengan sus suelos, su aire, sus ríos, lagos y mares, aptos para la vida. Entonces los capitales migraron, cambiaron su destino y fueron a parar a inversiones monumentales en países pobres, cuyos gobiernos vendidos e irresponsables entregan sus minerales, sin ningún escrúpulo al más postor, bosques enteros son desbastados cada año para poder minar la tierra y el producto de este “robo” sigue yendo a parar, fundamentalmente, a seguir aumentando la “calidad de vida” de los primer mundistas, paladines de la protección del medio ambiente, con excepciones marcadas como la de EE.UU. que se esfuerza por hacer prevalecer con la fuerza de sus cañones su filosofía de dueño del mundo, caiga quien caiga.

En la década de los setenta los países desarrollados consumían un promedio per cápita de 20 t de minerales al año, ese dato sería irrelevante si lo calculáramos para un habitante de un país subdesarrollado la cifra sería risorio. Todos los esquemas proteccionistas, las políticas, y los grandes análisis, que abogan por la protección del medio ambiente y la sustentabilidad en cuanto a los recursos minerales y la polémica sobre cuántos recursos debemos consumir y cuántos debemos dejar para las generaciones futuras que poblarán esta tierra, están plagados de una filosofía hipócrita y burguesa.

Desde la Revolución Industrial, a fines del siglo XVIII, hasta fines del siglo XIX, el consumo mineral creció diez veces, mientras que la población apenas se duplicó. En los primeros setenta años del siglo XX el crecimiento fue incluso más acentuado, siendo doce veces y medio mayor, en términos de valores (Cottrell, 1978). El mismo autor demuestra que para atender esta demanda era necesario la remoción de 8 t de roca por año y por persona, de las cuales, 3,3 t corresponden a los minerales de construcción, 2,5 t a desperdicios de la minería y a los estériles, 1,7 t a minerales energéticos, 136 kg a minerales metálicos y 154 kg a no metálicos. Lo que Cottrell no dice es, cuantas toneladas de mineral tenían que ser sacadas de países pobres y subdesarrollados, para ir a parar a las economías del primer mundo y engrosar la “calidad de vida” de las metrópolis capitalistas.

Las cantidades de recursos minerales consumidos mundialmente durante el siglo XX, han sido predominantemente representadas por petróleo, gas, carbón, hierro, cobre y aluminio, que juntos representaron aproximadamente dos tercios del consumo mineral mundial, siendo que del tercio restante, la mitad corresponde al consumo de arena y grava y la otra mitad se reparte entre todos los demás, de los cuales ninguno tiene participación superior al 1 %. Durante los años sesenta, el consumo mineral mundial (incluyendo energéticos, que equivalen a la mitad de ese total), correspondió a 4,5 % del valor total de la producción mundial (Cottrell, 1978). En 1990, las dieciocho naciones con mayor nivel de desarrollo mundial, que concentraban una población de 700 millones de personas usaron hierro y acero, en un volumen anual que varió de 254 kg a 522 kg por persona. De forma contrastante, en naciones subdesarrolladas, con una población total de 1,8 billones de personas, el consumo anual fue de 20,5 kg por persona (Youngquist, 1990).

Lo anteriormente descrito bastaría para probar lo que fácilmente se observa con relación a los desniveles exorbitantes entre los países desarrollados y los que pertenecen al bloque de los desposeídos, reflejando una necesidad cada vez más marcada por reformas en los paradigmas que dictan la vida o la muerte en el planeta, necesitamos cambios profundos en cuanto a la moral y la ética de los humanos todos, para que exista una verdadera voluntad política e ideológica, que repercuta en transformaciones económicas y sociales que realmente sirvan para mejorar la vida de los hombres y las mujeres del mundo, con mucho énfasis en los más pobres y necesitados.

No necesitamos grandes edificios de acero y cristal, grandes avenidas por donde corran autos de lujo, llenando la atmósfera de dióxido de carbono, no necesitamos para vivir grandes hoteles de lujo, con casinos de juego, donde todos los días, se juegan millones de dólares para satisfacer un vicio improductivo, necesitamos un mundo donde lo principal sea cubrir las necesidades básicas del ser humano, como son comer, tener un techo para no mojarnos, o pasar frío, vestirnos y calzarnos, tener escuelas para nuestros hijos, hospitales y centros de recreación sana y enriquecedora, necesitamos construir puentes, carreteras, vías férreas, presas, recuperar los desiertos, salvar los bosques y los humedales. Necesitamos acabar con las emanaciones de gases venenosos para la vida, estamos obligados a crear energía limpia, eliminar el uso del carbón y el petróleo como fuentes energéticas contaminantes y usar fuentes alternativas, que dicho sea de paso son muchas, pero no las potenciamos con un poco de los recursos que gastamos en sacar el oro para después venderlo y comprar petróleo para poder operar la industria minera que extraerá más oro, contaminar nuestro aire y nuestros mares, en otras palabras hacerles el juego a los imperialistas a los que el sur no les importa en lo absoluto y están hartos de demostrarlo como lo hicieron en Kyoto y Copenhagen.

La economía mundial nos ha impuesto un modelo de vida estúpido, carente del más mínimo sentido común, el hombre prehistórico era mucho más práctico que nosotros, usaba los minerales solo para satisfacer sus necesidades y todos trabajaban para usarlos en beneficios de toda la tribu. Cuando no tenían rocas apropiadas para hacer una herramienta simplemente la obtenían cambiando una piel u otra cosa por la roca o por la herramienta en sí, porque en realidad el verdadero valor de las cosas estaba en su utilidad práctica, en el problema que resolvería, no radicaba en el esfuerzo realizado para obtenerlas, por eso una piel de oso o de cualquier otro animal, podía valer tanto como una roca de sílex con filo.

Esa práctica tan lógica para poder vivir, la perdimos cuando se entronizó entre los seres humanos la pasión por el poder de unos sobre los otros, como vil expresión psicológica del egoísmo y el miedo, cuando algunos descubrieron que podían vivir sin trabajar, si explotaban el trabajo ajeno, cuando otros comprendieron que podían vivir diciéndole a los demás como debían pensar y actuar, haciendo esclavos a los demás, de sus ideas y formas de visualizar la vida y la obra de los seres humanos.

Cuando el ser humano comprendió que el oro tenía propiedades excelentes desde el punto de vista físico, pues casi no se aprecia su oxidación, es muy maleable y brillante, comenzó a usarlo como objeto de cambio, acuñó monedas y lo convirtió en dinero, y con eso facilitó las relaciones comerciales entre las ciudades estados del momento, propulsando el desarrollo de la humanidad de forma acelerada, cuestión que tomó un carácter exponencial en el siglo XX, algunos seres humanos hoy, y gracias a la creación del dinero, acumulan una inmensa riqueza material, pero al mismo tiempo tienen una gran pobreza espiritual, y es tanta, que son capaces de mandar a matar y a morir, a millones de hombres, mujeres y niños, para robar, ante los ojos inertes del resto de la humanidad, sus riquezas minerales, y todo esto enarbolando una Biblia en una mano, la constitución de la nación en la otra y teniendo a su propio hijo cargado en las piernas, como un buenos padres que aparentan ser.

Pero analicemos brevemente algo paradójico, el dinero, la medida de la riqueza, a la vez cuestiona fuertemente el acceso a los productos

útiles y su distribución, imposibilita a la vez la operación a la que sirve como medio: Al fin y al cabo la propiedad puesta en vigor por la fuerza estatal, divorcia en un primer paso todas las necesidades de sus respectivos objetos, impide que se satisfagan hasta que no se haya pagado el precio exigido por la persona a la que pertenecen. Si un Estado establece el dinero como medio para satisfacer las necesidades, está claro que no hace que las necesidades sean el objetivo de su economía. Más bien somete su satisfacción a la capacidad de pagar por parte de quien tenga esa necesidad. La cantidad de dinero, vigilada por el Estado, que uno posee decide sobre su libertad en el mundo de los placeres.

Si partimos del análisis anterior, entonces comprenderemos fácilmente porque muchos Estados que poseen cuantiosos recursos minerales están en peligro de extinción, porque los seres humanos que lo pueblan, no tiene dinero para controlar las pandemias de VIH-SIDA o de Tuberculosis que devoran a sus habitantes, con grandes posibilidades de extinción de todo un pueblo.

Las necesidades no satisfechas, al igual que las mercancías que se pudren en un almacén porque nadie las puede comprar, atestiguan que la disociación de la compra y la venta, aquella técnica que permite intercambiar cualquier mercancía contra cualquier otra, crea un fuerte antagonismo. Al parecer es tan importante el dinero que una mercancía no consigue siquiera intercambiarse por otra.

Necesitamos hacer una revolución paradigmática en la geología, la minería y la metalurgia, debemos luchar por cambiar la concepción del hombre hacia el aprovechamiento de los recursos que nuestra madre tierra posee, debemos romper el paradigma del oro como medio de riqueza cuando la verdadera riqueza esta en usar los minerales que ayuden a facilitar la vida, minerales que posean un verdadero valor de uso, que sirvan con un principio verdaderamente utilitario a los hombres y a las mujeres.

Pero sabemos que esto dañará intereses globales, originará resistencias peligrosas, atacará las evidencias gigantescas del despilfarro atroz. La resistencia del paradigma es la más obstinada de todas, pues se confunde, para quienes están sometidos a ella, con la evidencia de la senseatez y lo real. Por otro lado, la revolución paradigmática no sólo amenaza a los conceptos, las ideas, las teorías, sino también al estatus, el prestigio, la carrera de todos aquellos que viven material y psíquicamente de la creencia establecida.

A continuación exponemos en una tabla comparativa (en cuanto al lugar que ocupan en el mundo: 2009) a ocho países pertenecientes a disímiles regiones del mundo y con diferentes niveles de desarrollo.

El primer país productor de oro del mundo, ocupaba el lugar 183 en la esperanza de vida al nacer. Para los sudafricanos el explotar su oro no significa riqueza y mucho menos más vida. El primer país productor de cobre del mundo, ocupa el lugar 42 en el consumo de energía eléctrica, Alemania no produce cobre pero ocupa el séptimo lugar.

El primer país productor de diamantes del mundo, ocupaba el lugar 133 en el consumo de proteínas, el lugar 160 en la esperanza de vida al nacer, el 154 en el acceso al agua potable, el 141 en el consumo de petróleo, y el 104 en el consumo de energía eléctrica. Ni Alemania ni Japón producen diamantes, pero Alemania tenía el número 1 en el acceso a agua potable, el lugar 16 en el consumo per cápita de proteínas y el 4 en el consumo de petróleo, Japón por su parte ocupaba el número 22 en el acceso a agua potable, el lugar 21 en el consumo per cápita de proteínas y el 2 en el consumo de petróleo



En países pobres los niños son usados como "recursos humanos" para explotar yacimientos minerales, en condiciones infrahumanas muchos de ellos mueren aplastados por rocas, la necesidad, el hambre, la miseria, los lleva a buscar una forma de sobre vivir, sin esperanzas de una vida mejor, sin atención médica, ni escuelas, ni juguetes, ni sueños.

Tomemos como ejemplo un país muy grande como la India: La India es el máximo productor mundial de mica y el tercero de carbón y lignito, baritina (sulfato de bario) y cromita (óxido de cromo y hierro), cuarto de hierro, sexto de bauxita y manganeso, décimo de aluminio y decimoprimer de acero crudo. ¡La India es, casi literalmente, una mina, un tesoro!. Las minas suponen la base del desarrollo industrial y un impulso para la economía. Pero este desarrollo tiene un coste.

Más de 750.000 hectáreas se dedican a la minería, incluyendo bosques y tierras agrícolas. Y aunque esa proporción parece pequeña para un país que supera los 328 millones de hectáreas, hay que recordar que en la India, segundo país más poblado del mundo, tener tierra es la mejor forma de sobrevivir. Así, ese aparentemente mínimo 0,2 % significa millones de desplazados.

En los estados de Chattisgarh y Madhya Pradesh, por ejemplo, el emplazamiento de industrias cementeras no sólo ha convertido tierras agrícolas en industriales, también ha supuesto el cambio de forma de

Indicadores	País							
	Sudáfrica	Ghana	Brasil	Chile	México	Congo	Alemania	Japón
Producción de oro	1	11	13	14	20	70	-	29
Producción de cobre	20	-	17	1	12	23	-	48
Producción de hierro	9	-	1	17	15	-	30	50
Producción de diamantes	4	10	8	-	-	1	-	-
Mortalidad infantil	44	52	83	150	109	22	183	190
Desempleo	7	73	60	82	128	NA	59	105
Alfabetización	103	129	101	61	85	92	41	36
Consumo per cápita de proteínas	62	137	79	63	53	133	16	21
Esperanza de vida al nacer	183	149	88	39	50	160	23	4
Acceso al agua potable	90	129	86	64	51	154	1	22
Población desnutrida	NA	51	7	70	23	6	N.T.	N.T.
Consumo de petróleo	27	91	9	50	11	141	4	2
Consumo de energía eléctrica	15	100	9	42	16	104	7	3

FUENTE

The World Bank, 2009

vida de los agricultores del arroz, que han pasado a ser trabajadores de las plantas, con un drástico cambio de estilo de vida.

Ecológicamente, el cambio no es menor: las tierras se han convertido en profundas canteras.



Niños mineros de la India

Y es que todos los peldaños de la minería suponen una cadena de destrucción. Desde la exploración, pasando por la excavación, extracción, y terminando con la clausura. Porque los residuos que no son válidos para la industria se amontonan en las cercanías del lugar de extracción o en tierras públicas, (de cada cien mil gramos de tierra extraída, sólo uno es oro); y a los escombros y demás residuos hay que añadir las sales e incluso

desechos radiactivos, que se liberan en la extracción. Porque algunos desechos provienen de la mena, metales pesados como mercurio, arsénico, plomo, zinc y cadmio, pero otros se añaden durante el proceso de extracción, como el cianuro utilizado para la extracción de oro.

Y esas pilas de residuos almacenadas son removidas por el viento y arrastradas por las aguas de lluvia, contaminando el entorno. Las minas de uranio, por ejemplo, generan grandes volúmenes de residuos que contienen numerosos materiales radiactivos extremadamente peligrosos para los seres humanos y los animales. Torio-230, Radio-226, Radón-222 y Polonio-210, por ejemplo, entran en la cadena alimenticia al ser arrastrados por el viento sobre vegetales que crecen a kilómetros de distancia. Pero su presencia puede detectarse a cientos de kilómetros cuando caen en corrientes de agua y llegan a los ríos, (Arvind Tuppo, 2007).

Las minas mal gestionadas proliferan por todo el mundo, no son exclusivas de los países en desarrollo. Las malas prácticas destruyen el entorno y los estilos de vida locales. Pero la minería es la base de una industria necesaria, el reto reside en contener la contaminación y asegurar la salud y el bienestar de las comunidades cercanas. Asegurar que las minas no destruyan bosques y otros ecosistemas, esenciales para la supervivencia humana. Cuanta desigualdad, y cuanta injusticia para los países pobres que explotan sus recursos minerales, para que las grandes potencias tengan un nivel de vida desahogado y consumista, mientras los extraen de la tierra los recursos minerales mueren de hambre o ven a sus hijos fallecer por no tener una medicina de cuatro dólares.

Está claro que no podemos seguir pensando de forma unilateral y excluyente en cuanto a la utilización de los recursos minerales, no seremos perdonados por la razón, la naturaleza, el hombre, la sociedad y la historia.

Todos fuimos testigos de la guerra brutal que han desatado los imperios del mundo contra los pueblos de Irak y Afganistán para robarles su petróleo, las grandes potencias juegan con el precio del petróleo como si jugaran al "Monopolio", juego que casi todos jugamos de niño, pero que entraña en sí mismo el deseo de poder e inculca la cruel idea, en los niños y las niñas, que para prevalecer debemos tener más dinero que los demás y arruinarlos para poder ganar, ¿Qué?

En tiempos actuales diferentes autores han introducido ideas renovadoras, en cuanto a la ética, la responsabilidad, la moral, la antropología, etc., otros filosofan a cerca de cuan certeros o no, fueron los primeros en sus análisis de los problemas que aquejan a la sociedad moderna, a la naturaleza y la propia posibilidad de la continuidad de la existencia humana, pero no pasamos de ahí, no acabamos de comprender y hacernos consciente del porque estamos en la Tierra, de cuál es el verdadero sentido de la vida en general y de la humana en particular.

No necesitamos filosofar más, es necesario hacer, en realidad todo está dicho, sino con la palabra o con las letras, en la manera en que los hombres comenzamos a vivir en el planeta, necesitamos cambiar realmente el orden deshonesto e irreverente de las cosas, reaprender a reconocernos todos con iguales derechos, vivir en real comunidad entre nosotros mismos y con la naturaleza, aprovechar de ella lo que tan generosamente creó y crea para todos, nadie es dueño de lo que, por el simple concepto de ser terrícolas, nos pertenece a todos por igual.

Cuando el hombre salió de África para poblar el mundo, no llevaba consigo pasaporte alguno o carné de identidad, cuando por necesidades obvias se mudaba de un terreno a otro buscando mejores posibilidades y recursos, no le tenía que pedir permiso a alguien, el propio sentido común de la supervivencia justificaba lo que hacía, ahora los Estados dictan leyes contra la inmigración, supuestamente para proteger a sus habitantes de violadores, vagos y traficantes de drogas, con un marcado sentido racista, los gobiernos estatalizan esa política y legalizan el hecho de quienes tiene derecho a vivir o no, en un pedazo de tierra que en realidad y por intrínseco derecho humano, no le pertenece a alguien.

En la actualidad existe un gran debate sobre la sustentabilidad de los minerales y la contradicción entre desarrollo y las tasas actuales de utilización de recursos en los procesos productivos y sus efectos sobre el Planeta, en realidad el problema constituye una amenaza, un nuevo límite, ahora de carácter global, relacionado con la capacidad de reproducción de los sistemas naturales.

...Entre los bienes naturales, los minerales son considerados como los que constituyen la principal y más importante base de los recursos materiales que sustenta la civilización moderna, indispensables para la existencia del hombre. No existe la posibilidad de pensar en calidad de vida y consecuentemente en desarrollo económico, sin la amplia utilización de recursos minerales y por tanto, sin la minería. La prioridad que se le da a la minería se debe al carácter esencial de las materias primas y los energéticos, puestos a nuestra disposición, en grandes cantidades, por la minería. Además de eso, garantizan parte del progreso y bienestar de la población, tanto por la mejora de calidad de vida, en forma de viviendas, saneamiento, carreteras, puentes, medios de transportes, fertilizantes, aparatos quirúrgicos, electrodomésticos, entre otros, como también por las divisas que puede generar... (R. Negrão, 2002).

Cuanta falta de verdad hay dentro de las aseveraciones de la señora Negrão, de que progreso habla y de que bienestar, progreso, modernidad y bienestar si, para los poderosos, los ricos que constituyen el 20 % de la población mundial, ni tan siquiera puede referirse a todos los que habitan en países desarrollados, donde hoy viven millones de personas pobres, y que por cierto, muchas se han quedado sin las viviendas que supuestamente se garantizan con la explotación de los minerales. En su discurso sobre la sustentabilidad social patentiza que, la minería por sí sola no es capaz de resolver el problema de la pobreza y el hambre, que es responsabilidad de los gobiernos de los países pobres tornar la miseria en riqueza, repartiendo más equitativamente la renta nacional. En otras palabras la culpa de los avatares de los pobres, la tiene los pobres y sus gobiernos, la culpa de que en muchos países de América, África y Asia, vivan personas en condiciones infrahumanas, mueran cientos de niños sin atención médica y sus campos, ríos y mares estén contaminados es única y exclusivamente de ellos, por tanto debemos suponer que las potencias capitalistas que nos colonizaron, nos aniquilaron, nos robaron, nos endeudaron, nos segregaron y nos quieren seguir gobernado con el dólar en una mano y una pistola en la otra no tiene ninguna responsabilidad con nuestra hambre y nuestra pobreza, esa es la filosofía del capital y la propiedad, la de los "vidafagos" del mundo de hoy.

La culpa de la exclusión de la riqueza la tiene el concepto de propiedad en cualquiera de sus versiones. Hoy en día, esta institución "legal" ha llegado a tener validez hasta en los más recónditos lugares de la Tierra. Cualquier trozo de riqueza, sea natural o producido, le pertenece a

alguien. En todas partes existe un poder estatal que, por un lado, dota a algunos ciudadanos o instituciones del derecho a disponer a su gusto de bienes materiales y, por otro, prohíbe a todos los demás apoderarse de estos bienes, aunque éstos también los necesiten.

La exclusión de la riqueza, inherente a la propiedad, se agudiza por el hecho de que los pobres no solo están privados de los medios de consumo ya producidos, porque no tiene dinero para pagarlos, sino porque, además, han sido privados de las fuentes de riquezas mismas, es decir de los medios de producción, de los recursos minerales y junto con éstos, de los instrumentos de trabajo que les permiten producir los objetos necesarios para solucionar sus necesidades.

Tenemos que comprender que la revolución se juega hoy no tanto en el terreno de las ideas buenas o verdaderas opuestas en una lucha de vida o muerte a las ideas malas y falsas, sino en el terreno de la complejidad de las ideas. La salida de la edad de hierro planetaria y de la prehistoria del espíritu humano nos exige pensar de forma radicalmente compleja (Morin 1992: 244).

Es necesaria una nueva antropología y de una nueva epistemología que sustente las investigaciones y la práctica, en el campo de la geología, la minería y la metalurgia, que nos sumerja en el sujeto que elabora los métodos. Se hace necesaria la híper complejidad de un sujeto crítico, que en el fondo es quien corrige los métodos, para hacerlos mejor, más humanos. Necesitamos irrevocablemente, minerales para un presente verdaderamente humano y para un futuro formidable, necesitamos minerales para nuestros hijos y los hijos de nuestros hijos, para el ser humano del futuro.

BIBLIOGRAFÍA

Calvache Dorado, A.: *Breve Discurso Acerca de los Orígenes de la Minería*, Boletín de minas, Editorial Neptuno, La Habana, 1944.

Cottrell, A.: *Environmental Economics*. Cambridge, Halsted Press Book; New York, John Wiley & Sons, 1978.

Estévez Cruz, E.: *Apuntes sobre estimación de recursos y reservas*, <http://www.monografias.com/trabajos5/estat/estat.shtml>.

Gómez González, O. *Tesis en opción al grado de Master en Ciencias Geológicas*, Universidad de Pinar del Río, 2007.

Morin E.: *El método IV: las ideas. Su hábitat, su vida, sus costumbres, su organización*, Ediciones Cátedra, Barcelona. 1992.

Morin, E.: *Tierra Patria*. Seuil. Paris. 1993.

Negrão Cavalcanti, R.: *Recursos minerales, minería y desarrollo sustentable*, II curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental, 2002.

Renfrew, C.: *El Alba de la Civilización. La Revolución del Radiocarbono y la Europa Prehistórica*. Ed. Itsmo, Madrid, 1986.

Stearns P. N.: *Influencia mundial de la revolución industrial*, Microsoft® Student 2008 [DVD]. Microsoft Corporation, 2007.

Tuppo A.: *Minas, sí... pero bien gestionadas. Minerales, mitos y mafias*. CSE. www.ison21.es/2007/09/28/minas-si-pero-bien-gestionadas.

Villar Moyo, R. M.: *Aproximación a la historia de la minería*, <http://hdl.handle.net/2024/563>.

Youngquist, W.: *Mineral Resources & the Destinies of Nations*. Portland: National Book Company, 1990. 280 p.

ALGUNOS PROYECTOS HITOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL

En los últimos meses, han sido varios los proyectos desarrollados en el seno de la Facultad de Ingeniería, que revistieron notoriedad tanto en su desarrollo como en su aplicación práctica. El enfoque colaborativo tomó fuerza durante este año, no solo internamente, sino también con aliados estratégicos externos. En este espacio, serán mencionados algunos de los proyectos que dejaron en alto el sello de la facultad.



POLOS TERRITORIALES: DESARROLLO DE INGREDIENTES FUNCIONALES Y ADITIVOS ESPECIALIZADOS PARA LA VALORIZACIÓN DE LA PEQUEÑA Y MEDIANA AGRICULTURA DE SECANO.



Este proyecto surgió a propósito, de la convocatoria creada por el Ministerio de Agricultura, a través de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) y se instaló como parte de un trabajo colaborativo gestionado por la Pontificia Universidad Católica de Chile, junto con empresas del sector privado, y la participación de la Universidad Central. Geográficamente, el polo abarca un territorio desde la región de Valparaíso a la región del Biobío. Diversas leguminosas darán origen a un portafolio de productos que incluye fibras, proteínas, almidones y germinados; lo cual fungirá como instrumento que sentará las bases para una nueva industria chilena de ingredientes funcionales y aditivos especializados.

TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS AGROPECUARIOS A PRODUCTOS DE MAYOR VALOR AGREGADO MEDIANTE BIODIGESTOR ANAERÓBICA DE ALTA EFICIENCIA, EN MARÍA PINTO

Proyecto de investigación aplicada y desarrollo experimental, recientemente aprobado a través del Fondo de Innovación para la Competitividad Regional, del gobierno de Santiago, el cual se basa en el tratamiento de residuos a través de biodigestor, para así producir residuos valorizables, ya sea como fertilizantes o generadores de energía y ofrecer como valor agregado la disminución de olores contaminantes y gases invernaderos.



EXITOSO PRIMER CONGRESO DE FÍSICA TEÓRICA EN LA UCEN

El encuentro estuvo enfocado a alumnos de doctorados e investigadores post doctorales del área, sin embargo, convocó a todo público interesado en conocer acerca del mundo de la cosmología y los black holes.



Entre los días 22, 23 y 24 de noviembre se realizó el Primer Congreso de Física Teórica, denominado Black Holes and Cosmology, el cual convocó a invitados nacionales e internacionales del campo, específicamente en relación a estudios de cosmología.



NODO DE INVESTIGACIÓN DE REOALCEI

**“GENERO, EMPRENDIMIENTO,
POSTCONFLICTO E INCLUSION SOCIAL”**

Luis Iribarren



ARGENTINA

Zona Oeste. Buenos Aires. Lic. Marcela Sotomayor. Universidad de Luján.

Trabajar con micro-emprendedoras que intentan superar las propias contradicciones del mercado; y por otro el acompañamiento a las micro-emprendedoras desde una perspectiva social y humana.

Objetivos analizar cuáles son las contradicciones que deben superar y qué sucede luego; además investigar si en Argentina las emprendedoras se están organizando para trabajar en Redes (ecosistemas emprendedores) y si las políticas públicas acompañan el desarrollo de las emprendedoras. Conseguir una forma jurídica que permita acceder al crédito y centrarse en una zona puntual de la Provincia de Buenos Aires, Moreno (zona oeste).

Emprendedurismo y gestión empresarial de las mujeres en los Estados de Quintana Roo y Yucatán, México.

Coordinador del Proyecto en la Universidad de Quintana Roo, México: Dr. Edgar Alfonso Sansores Guerrero.

Autor Intelectual del Proyecto y Director Internacional:
Dr. Luis Alejandro Irribarren Alcaino.

Objetivo General: Determinar los factores que inhiben el desarrollo empresarial de las mujeres emprendedoras en Quintana Roo y Yucatán.

Objetivos Específicos:

- a. Caracterizar la gestión de las mujeres empresarias en Quintana Roo y Yucatán.
- b. Caracterizar a la mujer emprendedora en Quintana Roo y Yucatán.
- c. Evaluar la política de apoyo a mujeres empresarias.

Duración: 12 Meses Enero 2017 a Enero 2018

MÉXICO

MUNICIPIO DE GUADALUPE, ZACATECAS. REINA MARGARITA VEGA ESPARZA.

Es un estudio en México, en coordinación con investigadores de Organizaciones Públicas, Privadas y Sociales en América Latina y el Caribe.

Planteamiento del problema: Partiendo de la migración, como un fenómeno relevante en México, y concretamente en el Estado de Zacatecas (en el municipio de Municipio de Guadalupe), hay mujeres que son madres solteras, divorciadas o viudas que diariamente se enfrentan al mismo reto: mantener y cuidar de su familia. El número de mujeres que se encuentran en esta situación de vulnerabilidad es uno de los objetivos que se tratarán de determinar en el presente estudio.

Objetivo general: Identificar las necesidades socio-económicas de las mujeres madres de familia en las colonias marginadas del municipio de Zacatecas, que se encuentran en una situación vulnerable desde el punto de vista de los derechos humanos y/o migratorios que requieren de emprender un negocio y la capacitación respectiva.

Objetivos específicos:

- Diagnosticar el status socio-económico de las mujeres madres de familia que habitan en el municipio de Zacatecas.
- Detectar cuáles son sus requerimientos más apremiantes en el aspecto económico, como derecho fundamental.
- Identificar cuáles son ingresos anuales
- Determinar cuáles son las causas inhibitoras de su desarrollo en el aspecto socio-económico.
- Establecer cuáles son las mujeres que requieren de capacitación para emprender un negocio.

Justificación: Los derechos humanos deberían constituir el eje principal de la política migratoria, pero también de la vida de cualquier ciudadano. Este estudio es de vital importancia llevarlo a cabo hasta su término en virtud de que independientemente de que permitiría obtener un diagnóstico sobre el estado actual que guardan las mujeres, puede ser una fuente primaria de información para que los Gobiernos Federal, Estatal o Municipal a fin de que direccionen o reorienten los programas sociales que están autorizados con recursos asignados a ese sector vulnerable que son las mujeres emprendedoras para que puedan iniciar y perseverar como empresarias que les permita salir adelante de sus problemas económicos y elevar su calidad de vida.

Marco teórico: Se considerarán las teorías expuestas por el Dr. D. Luis Alejandro Iribarren Alcaino en su tesis denominada: La problemática de las mujeres en el mercado de trabajo y el espíritu emprendedor en nuevos negocios, además teorías derivadas de autores mexicanos respecto a la migración, derechos humanos y emprendimiento de las mujeres en México y en el Estado de Zacatecas.

Duración: 7 -8 meses

PROYECTO

GÉNERO, EMPRENDIMIENTO, POSCONFLICTO E INCLUSIÓN SOCIAL. BUCARAMANGA, SANTANDER, COLOMBIA . PH.D. ALBA PATRICIA GUZMÁN DUQUE. DOCENTE DE CARRERA. PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS.

Líder del Grupo de Investigación GICSE. Unidades Tecnológicas de Santander

Objetivo General: Proponer acciones de mejora que propendan por el desarrollo de las regiones considerando a la mujer dentro de la inclusión social.

Objetivos específicos:

- Analizar el estado actual de la inclusión de la mujer dentro del ámbito empresarial, contextualizando los diferentes tópicos de acción que favorezcan el planteamiento de políticas en la sociedad.
- Determinar las diferentes opciones que se ofrecen en la sociedad desde el gobierno y los entes privados para el esclarecimiento de las alternativas empresariales para las mujeres en la región.
- Caracterizar las alternativas que ofrece el posconflicto como escenario para el desarrollo de nuevos modelos de negocio, aprovechando las oportunidades rurales.
- Diseñar un documento que integre las buenas prácticas que requieren implementarse en la región buscando la inclusión de la mujer a través del emprendimiento como mecanismo de inclusión social después del posconflicto.

COLOMBIA

OFELIA PALENCIA FAJARDO. DIRECTORA GRUPO DE INVESTIGACIÓN. CORATENA.

Se considera el postconflicto en Colombia y las oportunidades de generar ingresos para las mujeres cabezas de hogar del departamento del Huila, zona afectada por el conflicto. Hay muchas mujeres en proceso de inclusión social a las cuales se les debe dar más oportunidades

Factores de análisis: Exclusión, Marginalidad, Explotación, Grado de dependencia, Investigación acción participativa: Talleres , para construir su realidad y con el apoyo del estado y la empresa privada, brindar las posibilidades para que estas madres generen sus propios ingresos.

Resultados esperados: Formar madres cabezas de hogar para la creación de negocios y desempeño laboral; Dar a conocer las estrategias adoptadas por este sector poblacional para lograr la equidad dentro del contexto social

Duración: 2 años

PROYECTOS DE INVESTIGACION MUJERES INCLUSIVAS Y COMUNIDADES INCLUSIVAS . "EL GENERO Y LA INCLUSION SOCIAL BAJO EL PRISMA DEL EMPRENDER."

• (Por iniciarse en octubre de este año)

→ BRASIL

Dra. Ma. do P. Socorro Rodrigues Chaves

Coordenação - PCTIS - Parque Científico e Tecnológico para Inclusão Social. Coordenação - Observatório de Economia Criativa-Am. UFAM. Universidad Federal do Amazonas, Manaus. Brasil.

Dra. Nerine Lúcia Alves Carvalho. UFAM. Universidad Federal do Amazonas Manaus. Brasil.

TRABAJO CON COMUNIDADES DE LA AMAZONIA

(economía creativa en la amazonia, tecnología e inclusión social).

→ BRASIL

Mg. Larissa Zuim Mataresio

Universidad Federal de Rondonia. Grupo de Investigación GEPGENERO. TRABAJO género y emprendedurismo.

→ MEXICO

Dra. Giovanna Torres Tello

Doctora en Estudios Sociales (Estudios Laborales) UAM Posdoctorado de la Universidad Autónoma de Querétaro UAQ . Docente Investigadora. Facultad de Ciencias Económicas Administrativas. Universidad Autónoma del Carmen. CAMPECHE.MEXICO. TRABAJO CON MUJERES EMPRENDEDORAS PYMES

→ MEXICO

Dra. Victoria Valenzuela Flores

Universidad de occidente.

→ MEXICO

Dra Silvia Acosta V.

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. Líder grupo de investigación. TEMA: Investigación enfocada al diseño e implementación de un programa para formar emprendedoras con 1era fase levantar datos de mujeres con proyectos incubados en programas de emprendimiento tanto de gobierno como de la Universidad, que permitan establecer un perfil, de acuerdo a la metodología del NODO.

→ COLOMBIA

Dra, Claudia Vásquez González

Internacionalista. Universidad del Magdalena.

→ COLOMBIA

Prof. Modesta Barrios Salas

Mujer y educación superior en el caribe. Fundación universitaria confenalco. Grupo grip

CHILE

PROYECTOS DE INVESTIGACION CON COMUNIDADES MAPUCHES DE LA REGION DE LA ARAUCANIA, X REGIÓN.

Dra. Adriana Riquelme y Dr. Luis Iribarren.

Aplicar un modelo de superación de la pobreza (inclusión social) mediante la indagación de los factores que contribuyen al incremento del valor a la cadena productiva de cooperativas exportadoras de productos locales y uso de los excedentes para beneficio de las propias comunidades.

PROYECTO 1

COOPERATIVA AGROECOLOGICA Y DE SERVICIOS AMULEY LEFRARU. PRODUCCION Y COMERCIALIZACION DE FRAMBUESAS PARA EXPORTACION

En el año 2009, se inicia el armado y consolidación de esta Cooperativa. Se organizan como Asociación Indígena AMULEY, con 14 integrantes de comunidades indígenas. En el año 2011 comienza la venta asociativa de Frambuesas. Antes fue exportar lupino, pero en forma individual como comuneros. En el año 2012 se organizan como Cooperativa Agroecológica y de Servicios AMULEY Lefraru, incorporando familias no mapuche. La conforman 40 socios. Edad promedio es 40 años . Con el apoyo estatal han invertido entre 2014-2017, 95 millones de pesos , aprox. 155 millones de dólares, y en apoyo en gestión unos 40 mil dólares. Disponen de un terreno en Parque Industrial de 1.500 m2 entregado en comodato por la Municipalidad local, por 5 años, donde ya terminan la habilitación de la Planta de procesamiento de berries, que tendrá una capacidad procesamiento de 200 toneladas por temporada.

PROYECTO 2

COOPERATIVA AGRÍCOLA ANTONIO RAPIMAN

Comuna de Padre las Casas (Temuco, Chile, Región de la Araucanía) Productos Agrícolas: Exporta aceite; menta y manzanas. Posee 490 hás. La iniciativa nace de una restitución de predio a través de un Título de Merced,. Son 48 familias que formaron una Cooperativa Campesina. La edad fluctúa entre los 26 y los 86 años. Hay 12 hombres y 28 mujeres. El nivel educacional es básica (1 a 8 años) , media (1 a 4 años) , y técnico profesional. En época de cosecha da trabajo directo a 180 personas, de distintas partes de la región . Indirectamente generan entre 70 a 100 personas más. Producen 5 variedades de manzanas y extraen aceite de menta. Inicieron su proceso productivo el 2015 con 140.000 cajas de manzanas. En 2016 alcanzaban las 170.000 cajas Los volúmenes de exportación se tradujeron en US\$1,1 millón de dólares) . Para el 2017 se esperan unos US\$ 2 millones de dólares. Trabajan con Centros de Negocios para apoyo y tienen contactos con Alemania, EE.UU., China y otros países donde llevan su producción. Se preocupan por su cultura, la educación y por diversificar su producción y agregar valor.



**CONSULTORIA
JUNIOR EN
GESTION DE RECURSOS
HUMANOS PARA
MIPYMES UTILIZANDO
METODOLOGIA A+A**

Narda Oyanedel



El presente artículo da cuenta de la experiencia presentada en el 5° Congreso de la Red Universidad Empresa ALCUE (América Latina, el Caribe y la Unión Europea): “La Vinculación Universidad-Empresa para el desarrollo integral con Impacto Social”, ponencia enmarcada en el área temática Ecosistema de innovación y PYMES, capacitación a MIPYMES en temas de gestión empresarial, realizado el pasado octubre en la Sede de la Universidad Católica del Perú, en la ciudad de Lima, correspondiente a la asignatura Gestión de Recursos Humanos de la carrera de Ingeniería Civil Industrial, Facultad de Ingeniería, de la Universidad Central de Chile, en que se realizó la Consultoría Junior en Gestión de Recursos Humanos, con la transferencia de herramientas de gestión y propuestas de mejora en Recursos Humanos, para micro o pequeñas empresas asociadas o vinculadas a la ONG Emprendedoras de Chile, lo cual se enmarca en la línea estratégica de vinculación académica con el medio UCEN en el ámbito de acción docencia de pregrado, en que se incorpora la metodología de Aprendizaje - acción (A+A) que busca plasmar el sello de compromiso social de la universidad en actividades académicas desarrolladas por los estudiantes y un aprendizaje significativo, aplicado e inmerso en la realidad nacional.

Palabras clave. *Formalización laboral, protección social, Emprendimiento femenino, calidad de vida, educación previsional.*

INTRODUCCIÓN

En el semestre de primavera de 2016 se aplicó la metodología de Aprendizaje-acción (A+A) en la cátedra de Gestión de Recursos Humanos de la carrera de Ingeniería Civil Industrial, El acompañamiento realizado a las/os emprendedoras/es a través de la consultoría Junior en Gestión de recursos Humanos, con las propuestas de mejora realizadas en base al diagnóstico, y la transferencia de herramientas de gestión de personas fueron evaluados positivamente por los beneficiarios (socios comunitarios) y para los estudiantes fue una experiencia apreciada como favorable para su desarrollo como ingenieros en formación y para su futura inserción laboral. Implicó utilizar un itinerario formativo con etapas y procesos transversales incorporados en el proyecto eje de la asignatura acorde al programa de estudios, denominado Consultoría Junior en Gestión de Personas para emprendedoras y MIPYMES.

Se siguió un itinerario formativo con etapas y procesos transversales incorporados en el proyecto eje de la asignatura acorde al programa de estudios, denominado Consultoría Junior en Gestión de Personas para emprendedoras y MIPYMES. Se obtuvieron positivos resultados referidos por los beneficiarios y estudiantes partícipes de esta experiencia de aprendizaje basado en la metodología de proyecto.

PROBLEMA

Tras el diagnóstico inicial ,el problema que intenta resolver la intervención definida se refiere al desconocimiento de prácticas de gestión de recursos humanos(RH) en cuanto a procesos relativos a la administración del ámbito de personas y las coberturas previsionales de emprendedoras/es y de las y los trabajadores para la protección en la vejez, la salud, accidentes laborales y enfermedades profesionales y beneficios que se pueden obtener a través de Cajas de Compensación; igualmente se detecta la necesidad específica de información sobre proceso de contratación de personal y proceso de gestión y control de personas.

DESARROLLO

Metodología: Modelo de Aprendizaje -Acción (A+A).

Los objetivos centrales en torno a los cuales se articula el modelo de Aprendizaje y Acción (A+A), incorporan:

1. Aprendizajes académicos
2. Producción de un servicio y/o actividades de acción social de calidad
3. Aprendizajes sociales y ciudadanos.

Estos objetivos se articulan en un modelo conformado por la intersección de dos tipos de experiencias educativas: Actividades académicas realizadas con el objeto de aplicar conocimientos teóricos y metodologías de investigación en contextos reales, en función de objetivos de aprendizaje específicos.

“El aprendizaje-servicio implica el desarrollo de acciones solidarias enmarcadas institucionalmente y destinadas a atender necesidades reales y sentidas por una comunidad, articuladas con contenidos de aprendizaje curricular y protagonizadas por los estudiantes.”(CLAYS, 2014)

El Tipo de intervención generada por el proyecto fue el siguiente:

Itinerario formativo A+A:



(*) CLAYSS, 2015

En la Consultoría junior se realiza la asesoría en gestión de recursos humanos, la cual considera:

- 1.-Motivación inicial a socias y socios comunitarios y estudiantes por parte de Encargada de Desarrollo Social UCEN , Directora de ON y docente responsable del curso.
- 2.-Elaboración de Diagnóstico del/la emprendedor/a o MiPYME en cuanto a gestión de RH
- 3.-En base a brechas identificadas se elabora propuesta de asesoría.
- 4.-Se realiza el Informe con propuesta de mejora en la gestión de personas para emprendedoras/es y empresas MIPYME.

• Diseño y ejecución de dos talleres formativos y de transferencia de herramientas de gestión de RH en temáticas identificadas en el diagnóstico:

- a) Gestión previsional y proceso de control, de ejecución por parte de equipos de estudiantes en laboratorio computacional, donde se transfieren herramientas de gestión de RH para el monitoreo y control de procesos de personas y se entrega información sobre los beneficios de cubrir la afiliación previsional para trabajadoras/es emprendedoras/es y de MIPYMES.
- b) Sistema Previsional chileno y Contratación de personal, de ejecución por parte de docente de la cátedra de Gestión de RH.

5.-Se efectúa el cierre del proceso en una actividad en que se entrega el Informe Final con las propuestas de mejora a cada MIPYME.

De manera transversal durante la ejecución del proyecto se desarrollan instancias de reflexión sobre el proceso; se efectúan los registros, sistematización y comunicación de los resultados; e igualmente se realiza un proceso de evaluación continua y final, donde se efectúa una evaluación en 360° donde participan en la autoevaluación personal y de equipos los propios estudiantes, se coevalúan al interior cada equipo de trabajo, reciben la evaluación de las/os socias/comunitarios y tereroevaluación docente.

CONCLUSIONES

Tanto estudiantes, beneficiarios como la docente valoraron positivamente la experiencia de trabajo bajo la modalidad A+A, se generó un espacio real de aplicación de conocimientos teóricos de gestión de personas y transmisión de instrumentos prácticos que favorecieron el mejoramiento de procesos de las emprendedoras y MIPYMES en este ámbito.

En cuanto al desarrollo de competencias de las y los estudiantes, se pudo observar:

-En el aspecto cognitivo: El trabajar de manera aplicada a una empresa real permite la aplicación de los contenidos teóricos de la asignatura –de manera integrada con otros conocimientos adquiridos en su proceso formativo en la carrera -y ponerlos al servicio de este proyecto enriqueció su formación y el producto a entregar a las/los beneficiarios.
-En cuanto habilidades: Pudieron ejercitar en el mundo real el trabajo en equipo, prácticas colaborativas y la planificación y organización que se dieron para ello. Pudieron desarrollar empatía con distintos niveles de trabajadoras/es en un emprendimiento y/u organización.

La recogida de apreciaciones respecto de la aplicación del proyecto a través de las encuestas realizadas se pudo obtener la percepción de los actores estudiantes y beneficiarios participantes.

Los primeros manifestaron para la dimensión Vinculación con la acción Social que Están mayoritariamente de acuerdo con la afirmación de que su experiencia en la vinculación de la asignatura con la experiencia de intervención social fomenta el mayor dominio de competencias profesionales (96%) y la totalidad de los participantes está de acuerdo con que fue muy relevante aplicar en experiencias reales los conocimientos adquiridos en la carrera.

En la dimensión participación social un 86% declara que haber participado de este proyecto les diferencia de otros profesionales porque les ha permitido desarrollar una formación ética y en un 84% también opina que han fortalecido su compromiso social.

Los beneficiarios en su totalidad expresaron que los estudiantes conocieron y comprendieron el propósito de su organización y que demostraron ser responsables durante el periodo en que trabajaron con ellos, y en un 100% se manifestaron satisfechos con los estudiantes que trabajaron en sus emprendimientos, y que los productos o actividades desarrolladas por los estudiantes cumplieron con sus expectativas iniciales, aportando a la solución de un problema de su organización.

BIBLIOGRAFÍA

- CLAYSS(2014) Centro Latinoamericano de Aprendizaje y Servicio Solidario. *La propuesta pedagógica del aprendizaje-servicio solidario en la universidad. Texto complementario 1 para los participantes en el Programa Latinoamericano de apoyo a Universidades Solidarias. Buenos Aires, Argentina.*
- CLAYSS(2013) Centro Latinoamericano de Aprendizaje y Servicio Solidario. *La propuesta pedagógica del aprendizaje-servicio solidario en la universidad. Texto complementario 2 para los participantes en el Programa Latinoamericano de apoyo a Universidades Solidarias. Buenos Aires, Argentina.*
- Rial, Sergio coordinador(2014). *Itinerario y Herramientas para desarrollar un proyecto de aprendizaje-servicio. Ministerio de Educación y deportes de la República Argentina. Buenos Aires.*
- Universidad Central de Chile. (2014). *Guía UCEN de apoyo docente para el desarrollo de asignaturas con sello Aprendizaje + Acción (A+A). 2ª edición 2014.*

Agradecimientos

A las y los socios/os comunitarios participantes y estudiantes por su participación y dedicación.

A la Facultad de Ingeniería y escuela de Industrias , como al Programa de Desarrollo Social por apoyarme para participar en el 5° Congreso RED ALCUE y así mostrar nuestra experiencia y conocer múltiples presentaciones iberoamericanas.

Artículo original: Una experiencia de RSU de la Universidad Central de Chile: Contribución a la formalización laboral de mujeres emprendedoras a través de Consultoría Junior en Gestión de Recursos Humanos para MIPYMES utilizando metodología A+A .

http://congreso.pucp.edu.pe/v-reduealcue/wp-content/uploads/sites/30/2017/11/3.Narda_Oyanedel-5toCongreso1.pdf



ANÁLISIS DE LOS PRINCIPALES FACTORES DE RIESGOS PSICOSOCIAL DE ÍNDOLE LABORAL

*Carmen Gloria González
Carolina Quezada
Víctor Betancourt*

La accidentabilidad laboral es la consecuencia del comportamiento humano, en un entorno organizacional, enfrentado a condiciones ambientales de riesgo que derivan en un daño físico para el trabajador. El desarrollo industrial se ha concentrado en soluciones de ingeniería que buscan aislar o eliminar el riesgo del ambiente físico o proteger al trabajador, impidiendo de esta forma el daño a los trabajadores. En otra línea de investigación, la psicología ha estudiado el comportamiento de los trabajadores en un contexto psicosocial intentando buscar elementos organizacionales que justifiquen la conducta de los trabajadores en la generación de los accidentes. El desarrollo de prevención de accidentes en Chile se ha caracterizado por el desarrollo ingenieril, concentrando los esfuerzos en la protección física de los trabajadores y en la eliminación o aislamiento del riesgo basal. Recientemente se ha iniciado esfuerzos por incorporar factores de riesgo psicosociales en las organizaciones que impactan en la salud de los trabajadores, pero estos esfuerzos no relacionan los factores de riesgos psicosociales con la accidentabilidad de los trabajadores. El presente estudio propone formular una metodología que permita ampliar los efectos de los factores de riesgos psicosociales más allá de las consecuencias hacia la salud de los trabajadores, incorporando sus efectos en los accidentes laborales, tomando como unidad de análisis una institución de educación superior en Chile.

Palabras claves: Factores de riesgo psicosocial, causa de los accidentes, prevención de riesgos laborales.

INTRODUCCIÓN

En Chile, la cultura en prevención desde el punto de vista de la vigilancia de Riesgos Psicosociales en el trabajo no está lo suficientemente profundizada e implementada. Mediante la resolución exenta N°336/2013 fue aprobado el "Protocolo de Vigilancia de Riesgos Psicosociales en el trabajo", cuyo objetivo es contar con un instrumento que entregue las orientaciones técnicas para valorar, medir y evaluar la exposición a riesgo psicosocial al interior de las empresas y organizaciones del país (Seguridad, 2017). Dicho protocolo de vigilancia de riesgos psicosociales en el trabajo, es un instrumento de aplicación con orientaciones prácticas, para ser implementadas en los lugares de trabajo. La evaluación de la exposición a riesgo psicosocial es medida a través del cuestionario SUSESO/ISTAS21 versión breve, que es un instrumento que evalúa, de manera simple, el grado de exposición al riesgo psicosocial al interior de la organización (Ministerio de Salud, 2013). Este protocolo comenzó a regir sólo a los rubros Comercio (Retail), Transporte e Intermediación Financiera y a partir del primero de septiembre del año 2015, se incorporaron todos los demás rubros del país.

Dado este contexto, se realizó un estudio en una institución de educación superior chilena, la que contaba con resultados preliminares de la aplicación del instrumento, arrojando una disparidad entre las distintas sedes en criterios que debieran estar relativamente homogéneos e identificando una gama importante de riesgos psicosociales tanto para académicos y administrativos.

Asimismo, estos trabajadores, al estar sometidos a riesgos psicosociales podría ser causal de incidentes o accidentes laborales, por lo que el estudio tuvo como finalidad profundizar la relación de los factores de riesgo psicosocial con la seguridad de los trabajadores.

ANÁLISIS Y METODOLOGÍA PROPUESTA PARA ESTABLECER RELACIÓN ENTRE RIESGOS PSICOSOCIALES Y ACCIDENTABILIDAD

Se comenzó por analizar el clima de seguridad en base a antecedentes como: la política de seguridad de la institución, su estructura de seguridad, las acciones en seguridad y salud laboral que se han implementado, el riesgo físico que se exponen los trabajadores y trabajadoras y a la conducta segura de los mismos, para luego, a partir de los datos de accidentabilidad y los resultados de la encuesta ISTAS21 establecer algunas hipótesis de su relación.

Por ejemplo, algunos antecedentes considerados fueron:

- El registro de accidentes: Se registraron accidentes en los últimos 3 años, 150 casos de accidentes en total, 46 en el año 2014, 49 en el año 2015 y 55 casos en el año 2016.
- Antecedentes de género: Se observó que el 57% de los casos acumulados en estos 3 años son mujeres (85 casos).
- Antecedentes etarios: El 79% de las mujeres contratadas (366 mujeres) se encuentran entre el segmento de edad entre 25 y 45 años y de estas 61 han sufrido accidente laboral.

Junto con lo anterior, considerando que, en la sociedad chilena, tradicionalmente han sido las mujeres quienes han organizado y realizado la mayor parte del trabajo doméstico familiar y que incluso cuando la familia se mantiene únicamente a través del sueldo de la mujer generalmente es ella quien sigue realizando las tareas domésticas en mayor medida. Por tanto, se postula la hipótesis que un factor relevante a estudiar en la relación accidentabilidad – factores de riesgos psicosocial es precisamente el factor doble presencia.

Tomando atención en la edad de los trabajadores, que han tenido siniestralidad en el periodo revisado, se observó que el 42% se encuentra en el rango de edad de 25 a 35 años, además el 49% de los casos que presentan siniestralidad son trabajadores con antigüedad

laboral inferior a 5 años por tanto, se postula que la ausencia de un clima de seguridad sumada a la baja experiencia de los trabajadores contribuye a estos índices de siniestralidad y deberían ser considerados en el modelo.

Los resultados de la siniestralidad señalan que aquellos que han presentado accidentabilidad son preferentemente los trabajadores del área administrativa, las causas podrían encontrarse en:

- Control exigente sobre la cantidad y los tiempos de trabajo para los trabajadores de esta área, que además considera turnos de trabajo en jornada vespertina.
- El personal administrativo atiende un gran flujo de estudiantes y profesores lo que exige atención constante, manejo de información, manejo de relaciones interpersonales, manejo de conflictos, etc.
- El tamaño de la ciudad y la ubicación de los campus provoca largas horas de traslado del personal administrativo. Por otra parte, los resultados de la encuesta ISTAS21 en sus dimensiones, señalan que:
 - Dimensión Exigencias Psicológicas, trabajo activo y desarrollo de habilidades y apoyo social en la empresa: De los resultados, se observó que son las unidades de análisis del ámbito académico las que se encuentran con los factores de riesgo más alto.
 - Dimensión factor trabajo activo y desarrollo de habilidades, se observó que, para las unidades con mayor cantidad de estudiantes, el personal tanto administrativo como académico son los que se encuentran con los factores de riesgo más altos sobre 50%.
 - Dimensión factor apoyo social en la empresa, se observó que son las unidades de administrativos, las que se encuentran con los factores de riesgo más altos sobre 40%.
 - Dimensión Compensaciones: Se observó que el 33% se encuentran con factores de riesgo entre 40 y 50%.
 - Dimensión doble presencia: se observa que alrededor del 92% se encuentran con riesgo sobre 40%, y que el 50% de las unidades de análisis se encuentran sobre el 60%.

Estos antecedentes, permiten reflexionar sobre el ambiente laboral y se relacionan directamente con las expectativas de desarrollo en el trabajo, lo que se debería incluir como factor en el modelo.

Dado lo expuesto, se postula que dentro de los factores relevantes a estudiar en la relación accidentabilidad – factores de riesgos psicosocial es esencial considerar en el modelo las relaciones al interior del trabajo con énfasis en la existencia de claridad de rol, conflicto de rol, calidad de liderazgo, calidad de la relación con los superiores, apoyo social de los superiores, calidad de la relación con los compañeros de trabajo y apoyo social de los mismos.

Las hipótesis enunciadas en los párrafos anteriores dan cuenta de: un desconocimiento o desinterés de la organización por establecer políticas o mecanismos que promuevan un comportamiento de sus trabajadores hacia la seguridad. Esta falta de interés, de la organización se refleja en:

- Una estructura organizacional no orientada a identificar los riesgos de accidentes y de preparar a sus trabajadores para enfrentarlos adecuadamente.
- En la cadena de causas la organización evidencia una ausencia de acciones que permita aislar condiciones físicas y preparar a sus mandos medio y trabajadores para enfrentar los riesgos laborales.
- En esta misma línea no se evidencia capacitación ni orientación adecuada para enfrentar los riesgos de accidentes sumado a la alta rotación, que si bien ha disminuido en el tiempo aún se mantiene alta, lo que hace mantener por una parte trabajadores nuevos para la institución con baja experiencia.
- Todas estas secuencias de eventos, finalmente, se traducen

en una ausencia de clima de seguridad, factor relevante en la accidentabilidad.

Siguiendo la línea iniciada por Meliá (1998) se postula integrar los factores organizacionales y de naturaleza psicosocial que se producen al interior de las organizaciones, considerando los aspectos debidos a las condiciones de trabajo, en un modelo cuantitativo que pueda ser contrastable. En este sentido, el propósito del estudio es presentar una metodología de evaluación, basada en un modelo estructural de relaciones entre un conjunto de variables psicosociales y de riesgo que afectan a la accidentabilidad laboral. Los conceptos esenciales que considera el modelo son los siguientes:

1. Aspectos Psicosociales: Considera variables que buscan medir el comportamiento del conjunto de la organización en sus relaciones interpersonales en el ambiente laboral. Para ello se ha considerado:

- Clima de Seguridad:** Considera el interés de la organización hacia la seguridad, las estructuras organizacionales con que cuenta la organización para prevenir los accidentes y promover la seguridad, la formación e información que reciben los trabajadores para enfrentar con éxito los riesgos laborales y las acciones que realiza la organización para prevenir accidentes.
- Comportamiento hacia la seguridad de la supervisión de los trabajadores o mandos medios:** La línea de mando, dirección supervisión, son los responsables de dirigir las acciones al interior de la empresa. Esta acción de dirección la realizan a través de la comunicación, la transmisión de modelos de comportamiento válidos y las contingencias, propagando conductas seguras o inseguras en el trabajador.
- Comportamiento hacia la seguridad de los compañeros de trabajo:** El grupo de compañeros genera un entorno social informal que ejerce influencia sobre el comportamiento del trabajador, esta influencia puede verse acentuada por la necesidad de integración social y reconocimiento del trabajador, así como por la identificación y la exposición permanente a su presencia.
- Comportamiento hacia la seguridad del trabajador:** Corresponde al mayor o menor grado en que el trabajador adecúa su comportamiento a las normas de seguridad en el trabajo

2. Riesgo laboral: Considera las condiciones físicas a las que se expone el trabajador en su ambiente laboral. Se distingue dos tipos de riesgo:

- Riesgo basal:** Corresponde al riesgo inherente a la actividad y viene dado por las condiciones físicas que debe enfrentar el trabajador.
- Riesgo real:** Corresponde al riesgo basal que enfrenta el trabajador considerando su comportamiento. Con esta variable se busca medir la probabilidad de que el trabajador sufra un accidente en su puesto de trabajo.

3. Accidentabilidad: Corresponde a la frecuencia con que se accidentan los trabajadores en la organización, se mide en número de accidentes por unidad de tiempo.

El modelo propuesto se representa mediante la siguiente figura:

La figura muestra el modelo propuesto en el cual centra que el comportamiento del trabajador está influenciado por tres componentes, el primero es el clima de seguridad, que a su vez está compuesto por el interés de la organización, por la estructura organizacional y por las acciones que la organización realiza en torno al clima de seguridad. Esto está directamente relacionado con el riesgo basal. El segundo componente es el comportamiento del supervisor y el tercer componente es el comportamiento de los compañeros que influyen directa y positivamente en el comportamiento del trabajador que está asociado al riesgo real, lo que impacta directamente en la accidentabilidad. Fuente: Esquema del modelo propuesto basado en

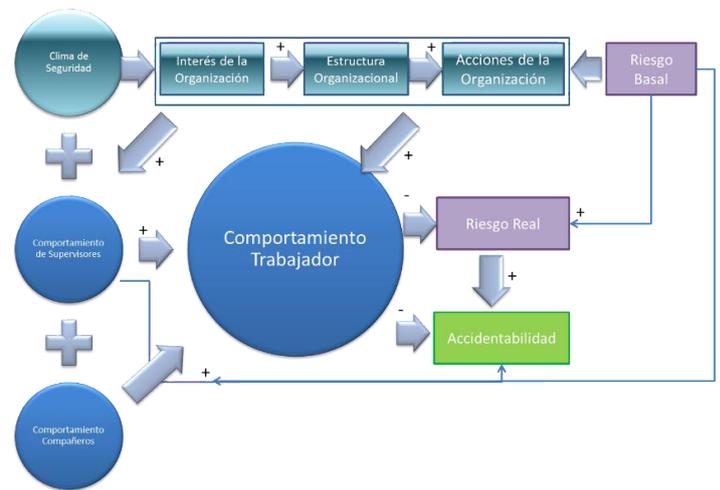


FIGURA 1

Modelo propuesto

el modelo causal psicosocial de los accidentes laborales (Meliá, 1998) La metodología que permita operativizar el modelo y con esto disponer de información cuantitativa para contrastar las hipótesis de causalidad de los factores psicosociales considera:

1. Construcción de los instrumentos que permitan medir las variables del modelo:

- Clima de seguridad:** Elaborar un instrumento que permitan medir el interés de la empresa en seguridad, la estructura organizacional de seguridad, la formación e información en seguridad, las acciones específicas de la empresa en seguridad.
- Conducta de los supervisores hacia la seguridad:** Elaborar un instrumento que permitan medir cómo el supervisor se comporta frente a los temas de seguridad.
- Conducta de los compañeros hacia la seguridad:** Elaborar un instrumento que permitan medir como los compañeros influyen positiva o negativamente en la conducta del trabajador hacia la seguridad.
- Conducta del trabajador hacia la seguridad:** Elaborar un instrumento que permita medir cómo el trabajador asume con mayor o menor grado las normas de seguridad de la organización.
- Riesgo basal:** Elaborar un instrumento que permita medir las condiciones físicas ambientales de exposición a daño físico del trabajador
- Riesgo real:** Elaborar un instrumento que permita evaluar la probabilidad de que un trabajador, enfrentado a un riesgo basal, producto de su comportamiento sufra un daño físico.

2. Validar cada instrumento en su estructura factorial causal: La validación está dada por aplicar el instrumento a una muestra representativa que permita medir la consistencia de los instrumentos en términos de lo que se quiere medir, en términos del entendimiento de las preguntas a la población a encuestar y si las preguntas son atingentes a la población en la cual están orientadas.

3. Aplicar los instrumentos validados a una población de trabajadores previamente definida: Una vez que los instrumentos están validados, se debe aplicar al total de personas que se requiere aplicar el instrumento para luego procesar la información y obtener los resultados globales de cada uno de los factores mencionados anteriormente.

4. Contrastar el modelo de ecuaciones estructurales definido para validar las hipótesis planteadas: Luego de obtener los resultados para cada uno de los factores mencionados, se requiere validar y contrastar el modelo con las hipótesis planteadas anteriormente.

A partir de la validación de las hipótesis del modelo, será posible formular los mecanismos de intervención que permitan superar las falencias psicosociales identificadas por el modelo que están impactando en los accidentes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El desarrollo de prevención de accidentes en Chile se ha caracterizado por el desarrollo ingenieril, concentrando los esfuerzos en la protección física de los trabajadores y en la eliminación o aislamiento del riesgo basal. Recientemente se han iniciado esfuerzos por incorporar factores de riesgo psicosociales en las organizaciones que impactan en la salud de los trabajadores, pero estos esfuerzos no relacionan los factores de riesgos psicosociales con la accidentabilidad de los trabajadores.

Los objetivos del estudio, se enmarcaban en la búsqueda de establecer una metodología de evaluación que permitiese asociar los factores de riesgo psicosocial con la accidentabilidad tomando como unidad de estudio una institución de educación superior en Chile. Para ello se realizó un diagnóstico, considerando aspectos organizacionales, antecedentes de seguridad y sus índices de accidentabilidad, como así también los resultados de la aplicación de la encuesta ISTAS21. De la información obtenida y analizada se logró evaluar cualitativamente algunos aspectos y cuantitativamente otros. En materia de seguridad dada las actividades desarrolladas, si bien es cierto que el riesgo basal de la institución es bajo, la frecuencia de los accidentes que se han suscitado en el periodo estudiado (3 años) es alta y los tipos de accidentes están dados fundamentalmente por caídas y torceduras. El 57% de los casos de accidentes corresponde a mujeres y un 75% son trabajadores del área administrativa. Al respecto, considerando al tipo de trabajadores y las características de sus funciones, el análisis sugiere que podrían estar influyendo factores de riesgo psicosocial en alguno de estos accidentes, lo que se puede plantear como hipótesis pues los datos no permiten demostrarlo.

En materia de riesgo psicosocial, de acuerdo a los resultados analizados de la encuesta ISTAS21, se concluye que el 97% de los trabajadores de la Institución está expuesto a uno o varios riesgos psicosociales y el 91% de estos declaran estar expuesto a doble presencia. De acuerdo a lo anterior, el disponer de información de la organización, del clima de seguridad en general y de los resultados de la encuesta ISTAS21, permite realizar análisis cualitativo individual de cada uno pero no permiten establecer una relación entre estos factores y la accidentabilidad de la institución de manera cuantitativa.

Bajo este contexto, se postuló un modelo de causalidad estructural de relaciones entre las variables organizacionales y psicosociales que afectan la accidentabilidad laboral. Dicho modelo integra aspectos psicosociales presentes en el clima de seguridad, además del comportamiento de la supervisión y de los compañeros, para así vincularlos con el riesgo laboral y la accidentabilidad. Para la operativización de este modelo, se recomienda seguir la metodología planteada, en la cual se considera la construcción, validación y aplicación de instrumentos que permitan contrastar el modelo de causalidad.

Se postula que la implementación de dicho modelo, permitirá avanzar en la formulación de mecanismos de intervención preventiva que permitan controlar los factores de riesgos psicosocial y con esto se impacte positivamente en la accidentabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Botta, N. A. (Marzo de 2010). *Teorías y Modelización de los Accidentes*. Rosario - Argentina: © Editorial Red Proteger®.
- Díaz Flores, M. (2012). *ALGUNAS EXPERIENCIAS EN EVALUACIÓN EDUCATIVA*. En M. D. Flores, *ALGUNAS EXPERIENCIAS EN EVALUACIÓN EDUCATIVA*. Toluca, Estado de México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- G., P. R. (Octubre de 2014). *Modelo Educativo*. Modelo Educativo. Santiago, Santiago, Chile.
- Gobierno de Chile, C. (2016). *Código del Trabajo*. Chile: Chile.
- Instituto de Salud Pública, C. (1 de Diciembre de 2013). *GUÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS DE SEGURIDAD EN LOS AMBIENTES DE TRABAJO*. Recuperado el 28 de Enero de 2017, de <http://www.ispch.cl/sites/default/files/D003-PR.500.02.001%20Gu%C3%ADa%20para%20la%20identificaci%C3%B3n%20y%20evaluaci%C3%B3n%20de%20riesgos%20de%20seguridad.pdf>
- Jiménez, B. M. (2011). *Factores y riesgos laborales psicosociales: conceptualización, historia y cambios actuales*. Scielo, 2-5.
- Jiménez, B. M. (2011). *Factores y riesgos laborales psicosociales: conceptualización, historia y cambios actuales*. *Med. segur. trab. vol.57 supl.1 Madrid 2011*, <http://dx.doi.org/10.4321/S0465-546X2011000500002>.
- Meliá & Sesé. (1999). *La medida del clima de seguridad y salud laboral*. *anales de psicología*, 269-289.
- Ministerio de Salud, C. (19 de 01 de 2013). *minsal*. Santiago: Subsecretaría de Salud Pública.
- Nacional, C. (1968). *LEY 16.744 ESTABLECE NORMAS SOBRE ACCIDENTES DEL TRABAJO Y ENFERMEDADES PROFESIONALES*. Ley 16.744. Santiago, Santiago, Chile.
- Rodríguez Rojo, C. (2015). *Evaluación de los factores psicosociales de riesgo laboral*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Seguridad, A. C. (19 de Enero de 2017). *www.achs.cl*. Obtenido de <http://www.achs.cl/portal/Empresas/Paginas/Riesgos-Psicosociales.aspx#.WIFrTRvhC00>
- Trabajo, D. d. (2011). *Informe de Resultados 7° encuesta Laboral*. Santiago.





INDEPENDENCIA · PLURALISMO · COMPROMISO



NUESTRAS CARRERAS

- GEOLOGÍA
- INGENIERÍA CIVIL EN OBRAS CIVILES
- INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN
- INGENIERÍA CIVIL EN COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA
- INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL
- INGENIERÍA CIVIL EN MINAS

96%

DE EMPLEABILIDAD
PROMEDIO DE LAS
CARRERAS DE LA
FACULTAD


Comisión Nacional
de Acreditación
CNA-Chile

4 AÑOS ACREDITADA
GESTIÓN INSTITUCIONAL
DOCENCIA DE PREGRADO
VINCULACIÓN CON EL MEDIO | DESDE DICIEMBRE 2017
HASTA DICIEMBRE 2021