

AÑO XVIII - NÚMERO

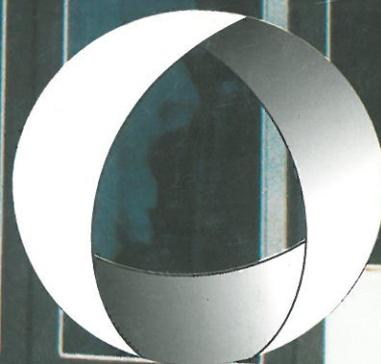
40

I.S.S.N. 0326-1220

NOVIEMBRE 1999

TAD DE INGENIERIA

Revista de  
la Facultad  
de Ingeniería



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO

*En acción continua...*

# Congreso Internacional Uso Eficiente del Agua

## International Conference Efficient Use Of Water

Mendoza - Argentina  
abril 26-27-28 / 2000

**Sede: / Place:**

Centro de Congresos y  
Exposiciones "Emilio Civit"  
Av. Peltier 611 - Mendoza



POLITICA HIDRICA - ASIGNACION DEL RECURSO - MEDIO AMBIENTE  
DESARROLLOS TECNOLOGICOS - EXPOSICION DE BIENES Y SERVICIOS

ORGANIZADO POR / ORGANIZED BY

PATROCINAN / SPONSORS



MINISTERIO DE CULTURA Y EDUCACION  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
INSTITUTO DE HIDRAULICA



GOBIERNO DE MENDOZA  
Departamento General de  
IRRIGACION  
Administrando el recurso vital del futuro



FACULTAD DE INGENIERIA - UNC - Dpto. de Hidráulica  
Centro Universitario - 5500 Mendoza  
República Argentina - Casilla de Correos 405  
Tel. 54-261-4234448 - interno 2129  
fax 54-261-4380120  
e-mail: ingamb@raiz.uncu.edu.ar

DEPARTAMENTO GENERAL DE IRRIGACION  
Dirección de Estudios y Proyectos  
Barcala y Av. España - 1er. piso  
5500 - Mendoza - República Argentina  
Tel.: 54-261-4234000 - fax 54-261-4234656  
e-mail: irrigacion@mendoza.gov.ar

# SRT

## SEGURIDAD Y RIESGOS EN EL TRABAJO

SAFETY AND RISKS IN THE WORKPLACE

1º CONGRESO INTERNACIONAL

1<sup>st</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE

"...Hacia la reducción de Riesgos para  
minimizar los Accidentes..."

"...Toward risks reduction to minimize accidents..."

### ÁREAS A CONVOCAR

- Análisis de Riesgos.
- Prevención de incendios.
- Seguridad en Edificios.
- Seguridad en construcción de Obras Civiles.
- Función de las ART.
- Políticas oficiales en Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Legislaciones Nacionales y Extranjeras.
- Normas ISO 18.000 - IRAM 8.800.
- Consumo de drogas y alcohol vs. Seguridad.
- Higiene Industrial - Evaluaciones.
- Costos de los Accidentes de Trabajo.
- Seguridad y Ambiente.
- Seguridad de Productos.



April, 12 - 14 / 2000

Mendoza - Argentina

Centro de Congresos y Exposiciones

"EMILIO CIVIT"

Avenida Peltier 611 - Mendoza



ENSHI

<http://ing.uncu.edu.ar> + transmisión por Internet en tiempo real / Internet transmission in real time

# Editorial

A partir de la edición del N° 39, del mes de junio pasado, la revista está disponible en el sitio Web de la Facultad (<http://fing.uncu.edu.ar/noticias/index.htm>); se inserta en formato PDF, requiriendo para su visualización tener instalado "Acrobat Reader" 3.0 o superior. De allí en adelante continuaremos publicando además por ese medio, con lo que logramos ampliar sensiblemente lo que hasta entonces fuera el limitado campo de la distribución impresa convencional.

El hecho apuntado, que marca un hito importante en nuestra trayectoria, obliga a reactualizar el perfil de revista que pretendemos afirmar y consecuentemente a marcar ciertas pautas a los autores para que ajusten sus trabajos a la naturaleza de la publicación, más algunas recomendaciones de nuestra impresora para facilitar la tarea de reproducción.

Con esas indicaciones, que presentamos en la página 41 de esta tirada y que en lo sucesivo habrán de aparecer en todos los números, reitero nuestro deseo de continuar siendo un medio idóneo y eficaz que canalice la difusión y estimule la labor creativa de profesionales e investigadores de la ingeniería. \*

No quiero terminar este introito sin comentarles que esta vez incluimos un artículo referido al efecto invernadero, que plantea una visión profunda de este fenómeno que afecta al planeta. Amerita su análisis y discusión, por lo que invito al debate científico que pudiera suscitarse y viabilizarse a través nuestro, en una experiencia que sin dudas será enriquecedora y naturalmente bienvenida.

Ing. José Ramón Mini  
Director

\* Al cierre de la edición se decidió ubicar el Instructivo en retiro de tapa.



## La naturaleza es un buen espejo donde mirarnos.

Somos una empresa integrada  
de energía que produce  
bienes indispensables  
para el desarrollo de todas  
las actividades económicas.

Trabajamos con plena conciencia  
de nuestra responsabilidad  
en la preservación del medio ambiente.

Por eso, todas nuestras empresas  
armonizan sus operaciones industriales  
con el cuidado de la ecología.

Y nuestro trabajo se está reflejando.

Con energía.



**ASTRA**

— Una empresa —



# Comportamiento reológico de mezclas de crudos en condiciones de flujo en cañerías

Mauricio E. Garay<sup>(1)</sup>

## 1- SUMARIO

Cuando en tareas de producción se trabaja con petróleos en oleoductos, se utilizan simuladores comerciales. Estos simuladores suponen que, cuando se agrega un nuevo crudo al oleoducto, la viscosidad de la mezcla, entre el crudo que circulaba anteriormente y el crudo que circula con el agregado del nuevo petróleo, se comporta de acuerdo a la tradicional ley de las mezclas. Por lo tanto, si se mezclan  $n$  crudos en una mezcla  $m$ , se tiene que:

$$\eta_m = \sum_i^n x_i \cdot \eta_i \quad (1)$$

Donde  $\eta_m$  es la viscosidad de la mezcla,  $x_i$  son las concentraciones en peso de cada uno de los crudos, y  $\eta_i$  son las viscosidades de cada componente.

Como la viscosidad es una magnitud que depende, en los líquidos, de las interacciones moleculares se partió de la hipótesis de que esta ley podía no ser válida, ya que no tiene en cuenta dichas interacciones.

Para comprobarlo experimentalmente, se determinó la viscosidad de un crudo muy viscoso perteneciente a la provincia de Mendoza, en las condiciones de gradiente de corte y temperatura de flujo en cañería. Este crudo fue mezclado con gasoil y con dos crudos livianos (ambos de comportamiento reológico conocido), a diferentes concentraciones y se determinó su viscosidad en condiciones de flujo en cañería.

Los resultados muestran claramente que el apartamiento de la viscosidad medida con la calculada a través de la ley de las mezclas es muy importante.

## 1- SUMMARY

When you work in production tasks with oils in pipelines, commercial simulators are used. These simulators assume that, when a new oil is added to the pipeline the mixture viscosity, between the oil running before and the oil running with the addition of the new oil behaves following the traditional rules governing mixtures. Consequently, if  $n$  oils are mixed in a  $m$  mixture, you find that

$$\eta_m = \sum_i^n x_i \cdot \eta_i \quad (1)$$

<sup>(1)</sup> Alumno de Ingeniería de Petróleos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo; con el presente trabajo obtuvo en el corriente año el primer premio del Concurso Nacional Estudiantil de la Society of Petroleum Engineers.

Where  $\eta_m$  is the mixture viscosity,  $x_i$  are the concentrations in weight of each oil, and  $\eta_i$  are the viscosities of each component.

As viscosity is a magnitude depending on liquids, from the molecular interactions they use the hypothesis that this rule could not be valid since it does not account for these interactions.

To prove with experiments the viscosity of a very viscous oil from Mendoza province was determined in the conditions of cut gradient and flux temperature in a pipeline. This oil was mixed with diesel-oil and with two light oils (both of reological known behaviour), at different concentrations and so its viscosity in pipeline flux conditions was determined.

The results clearly demonstrate that the difference between the measured viscosity and that calculated using the formula for mixtures is significant.

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se presentará un estudio sobre la validez de la ley de las mezclas en petróleo, ya que muchos simuladores comerciales la utilizan.

Viscosidad: es la propiedad que caracteriza la resistencia de un fluido a fluir ( $\eta = \text{eta}$ ). Se observa que la velocidad de flujo a través de un tubo es inversamente proporcional a la viscosidad. Para obtener una definición precisa de  $\eta$ , se considera un fluido que fluye de modo estacionario entre dos láminas grandes, planas y paralelas (fig. 1). La experiencia muestra que la velocidad  $v_x$  del flujo del fluido es máxima en medio de las dos láminas y desciende hasta cero en cada lámina. Las flechas de la figura indican la magnitud de  $v_x$  (perfil de velocidades) en función de la coordenada vertical  $y$ . La condición de la velocidad de flujo cero en el límite entre un sólido y un fluido, llamada la condición de no deslizamiento, es un hecho experimental. Las capas horizontales adyacentes de fluido fluyen a diferentes velocidades, "se deslizan" unas sobre otras. Cuando dos capas adyacentes se deslizan una junto a otra, cada una ejerce sobre la otra una fuerza de fricción ( $F_x$ ) que opone resistencia. Esta fuerza es debida a la transferencia de la cantidad de movimiento molecular, y es esta fricción interna del fluido lo que da origen a la viscosidad. Los experimentos muestran que  $F$  es directamente proporcional al área  $A$ , entre las láminas y al gradiente  $\dot{\gamma}$  de velocidad de flujo, siendo la constante de proporcionalidad la viscosidad  $\eta$  del fluido.

$$F = -\eta \cdot A \cdot \dot{\gamma} \quad (3)$$

donde  $\dot{\gamma}$  es el gradiente de corte que en forma general es  $\dot{\gamma} = \vec{\nabla} \cdot \vec{v}$ . Para nuestro caso en dos

dimensiones, el gradiente de corte quedaría  $\dot{\gamma} = \frac{dv_x}{dy}$ .

La ecuación (3) es la Ley de Newton de la Viscosidad, que también puede expresarse como:

$$\tau = -\eta \cdot \frac{dv_x}{dy} \quad ; \quad (4)$$

donde  $\tau$  es el esfuerzo tangencial o cortante que una capa adyacente ejerce sobre la otra.

Los fluidos se clasifican en newtonianos o no newtonianos. Esta clasificación se hace en función de cómo se comporta  $\eta$  a medida que varía  $\frac{dv_x}{dy}$  (fig. 2). El **fluido newtoniano** es aquel en el que  $\eta$  es independiente de  $\frac{dv_x}{dy}$ . Por lo tanto, existe una relación lineal entre la magnitud del esfuerzo cortante aplicado y la rapidez de deformación resultante. En cambio, en el **fluido no newtoniano**,  $\eta$  varía a medida que lo hace  $\frac{dv_x}{dy}$ ; entonces, existirá una relación no lineal entre ellos.

Cuando en tareas de producción se trabaja con petróleos en oleoductos, se utilizan simuladores comerciales. Estos simuladores suponen que, cuando se agrega un nuevo crudo al oleoducto, la viscosidad de la mezcla, entre el crudo que circulaba anteriormente y el crudo que circula con el agregado del nuevo petróleo, se comporta de acuerdo a la tradicional ley de las mezclas. Por lo tanto, si se mezclan  $n$  crudos en una mezcla  $m$ , se tiene que:

$$\eta_m = \sum_i^n x_i \cdot \eta_i \quad (5)$$

Donde  $\eta_m$  es la viscosidad de la mezcla,  $x_i$  son las concentraciones en peso de cada uno de los crudos, y  $\eta_i$  son las viscosidades de cada componente.

Según (1) existe una gran variedad de ecuaciones empíricas y semiempíricas que podrán funcionar con un grado mayor de aproximación o no, dependiendo del sistema a analizar. Algunas, de las ecuaciones mencionadas son:

Leyes Ideales

$$\theta(\eta) = \sum_i^n X_i \cdot \theta(\eta_i) \quad (6)$$

Ecuación de Arrhenius, ASTM

$$\log \eta = \sum_i^n X_i \cdot \log \eta_i \quad (7)$$

Ecuación de Kendall y Monroe

$$\eta = X_1 \cdot \eta_1^{1/3} + X_2 \cdot \eta_2^{1/3} \quad (8)$$

Donde  $\theta(\eta)$  es alguna función de  $\eta$ . Por lo dicho en (1), todas estas ecuaciones no son demasiado precisas, cuando se utilizan en líquidos, debido a que no consideran las interacciones moleculares, ya sea de los líquidos miscibilizados o las interacciones soluto – solvente. Como ya se ha dicho, la viscosidad es una magnitud que depende, en los líquidos, de las interacciones moleculares. Por lo tanto, se partió de la hipótesis de que estas leyes no podían ser válidas, ya que no tienen en cuenta dichas interacciones.

Para comprobarlo experimentalmente, se determinó la viscosidad de un crudo muy viscoso perteneciente a la provincia de Mendoza (A), en las condiciones de gradiente de corte y una temperatura media de flujo en cañería. Este crudo fue mezclado a diferentes concentraciones con gasoil, con un segundo crudo B y con un tercer crudo C. Ambos de comportamiento reológico conocido.

### 3- METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Con el objeto de demostrar la hipótesis ya mencionada, se prepararon tres tipos de mezclas binarias entre un crudo A y gasoil, entre el crudo A y un crudo B y finalmente entre el crudo A y un crudo C. A su vez estas tres mezclas se prepararon a tres concentraciones distintas cada una. Las tres concentraciones en peso diferentes de A utilizadas fueron: al 70%, al 50% y al 30% (ver tabla 1), y se las designará como indica la tabla 1. Las determinaciones de viscosidad se hicieron a una temperatura de 60°C y a un gradiente de corte entre 1 – 50 1/s, debido a que se consideró que son valores habituales medios en cañería. Los datos finales obtenidos son los valores medios entre cinco mediciones.

#### 3.1- Equipo experimental

Las viscosidades se midieron con un viscosímetro Haake modelo RV20 con reocontroller RC20, conectado a PC 486, con cabezal de medición M5 y rotores MV1 y MV2, dependiendo del rango de viscosidades.

Las temperaturas se controlaron con un baño termostático Haake, mediante una sonda de temperatura Pt 100 que permite mediciones con precisión de 0,1°C.

#### 4- RESULTADOS EXPERIMENTALES

El petróleo base A, resultó ser un fluido no newtoniano, como lo indica la gráfica 1. Resulta evidente, que la viscosidad disminuye en forma apreciable con el gradiente de corte.

La determinación de la viscosidad en toda la serie de muestras, arrojó los siguientes resultados:

**Mezclas Petróleo A – Gasoil:** las muestras 1, 2 y 3, resultaron ser fluidos newtonianos, debido a la relación lineal que existe entre la viscosidad y el gradiente de corte. En el gráfico 2 se puede observar el comportamiento de las viscosidades de las mezclas. Debido a que son fluidos newtonianos, se determinaron las viscosidades de las mezclas con un promedio de todas las mediciones; indicándose, además, los errores correspondientes a dicha operación. Estos valores están indicados en la tabla 3.

**Mezclas Petróleo A – Petróleo B:** las muestras 5 (50% de A y 50% de B) y 6 (30% de A y 70% de B) resultaron ser fluidos newtonianos. En cambio, la muestra 4 (70% de A y 30% de B) resulta ser un fluido no newtoniano. Estos resultados pueden ser observados en gráfico 3 y en tabla 5.

**Mezclas A – Petróleo C:** se determinó que la muestra 7 (70% de A y 30% de C) es no newtoniana. En cambio las muestras 8 (50% de A y 50% de C) y 9 (30% de A y 30% de C) son newtonianas. Los valores obtenidos para la muestra 7 (70% de A y 30% de C) se muestra en la tabla 6. La tabla 7 da los valores de las viscosidades en las muestras que resultaron newtonianas. El gráfico 4 indica la variación de la viscosidad con el gradiente de corte, para todas la mezclas Petróleo A – Petróleo C

#### 4-1 VERIFICACIÓN DE ECUACIONES DE LEYES DE LAS MEZCLAS

Reemplazando valores en las ecuaciones de leyes de las mezclas, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 8 hasta la tabla 16. Por ser el petróleo A no newtoniano, los cálculos se efectúan a tres gradientes de corte distintos, dentro de los característicos para flujo en cañería.

#### 4-2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

**Mezclas Petróleo A – Gasoil:** se puede observar que la muestra 1, que posee 70% de A (crudo muy viscoso), tiene menor viscosidad que la muestra 2, que sólo presenta un 50% de A. Por lo tanto, no sólo no cumple con las ecuaciones, sino que tampoco disminuyen las viscosidades de acuerdo a las concentraciones de cada componente.

**Mezclas Petróleo A – Petróleo B:** se pudo observar una disminución de las viscosidades, de acuerdo a las concentraciones. En las dos concentraciones más altas de B, se cumple la ley de Arrhenius con muy buena aproximación.

**Mezclas Petróleo A – Petróleo C:** se puede observar en las tablas 14, 15 y 16, que las ecuaciones de las leyes de las mezclas no se verifican. Además se puede vislumbrar un comportamiento extraño que no se pudo explicar. Éste se observó en la muestra 7 (70% de A y 30% de C), en la cual mezcla de dos crudos pseudoplásticos da como resultado un dilatante.

#### 5- CONCLUSIONES

La variación de la viscosidad depende del gradiente de corte, por lo que debe calcularse en las condiciones de flujo de cañería, teniendo en cuenta la no newtoneidad en los casos que corresponda, antes de introducir los datos en un simulador.

Se comprueba otra vez, que la viscosidad es una manifestación de interacciones moleculares, sobre todo en el caso de mezclas con gasoil. En la muestra n° 2 (50% de A y 50% de gasoil) se pudo observar que la viscosidad era mayor que en la muestra n° 3 (30% de A y 70% de gasoil) a pesar de la

mayor concentración en A (crudo muy viscoso). Ello se debe a que el crudo A es muy asfáltico y el gasoil, tiene la particularidad de precipitar a los mismos. Al existir partículas más grandes (agregados de asfaltenos), la viscosidad aumentó. En muchos casos, en la extracción por bombeo, las parafinas producen el atascamiento de las bombas. Para solucionar este inconveniente, se inyecta gasoil o kerosene, que produce la disolución de las parafinas pesadas. Sin embargo esto produce, en aquellos petróleos asfálticos, la precipitación de los mismos, y por consiguiente la disminución del rendimiento del pozo.

Los resultados muestran claramente que el apartamiento de la viscosidad medida con la calculada a través de las ecuaciones de las mezclas, es muy importante en la mayoría de los casos.

Por lo tanto, no puede usarse ninguna ley de las mezclas, sin una previa comprobación experimental, de los valores reales de las viscosidades de la mezcla.

## NOMENCLATURA

$\eta_m$  = viscosidad de la mezcla.

$\eta_i$  = viscosidad de cada componente.

$X_i$  = concentración en peso de cada componente.

$F_x$  = fuerza de fricción interna, en el flujo de un fluido.

$\dot{\gamma}$  = gradiente de corte o de flujo general

$dv_x/dy$  = gradiente de corte o de flujo en bidimensional.

$\tau$  = esfuerzo de corte o tangencial.

$\theta(\eta)$  = alguna función de la viscosidad.

$n$  = cantidad de componentes en el sistema de mezclas

## REFERENCIAS

1. Adamsom, Arthur W.: "The Difussional Behavior And Viscosity Of Liquid Mixtures", Soc. Pet. Eng. (1963), paper 1348, volume 219, P. 158
2. Shu W. R.: "A Viscosity Correlation For Mixtures Of Heavy Oils, Bitumen And Petroleum Fractions". SPE 11280 (1989)
3. Wazer, Lyons Kim: "Viscosity and flow measurement a laboratory handbook of Rhedo"
4. Sunil L. Kokal and Selim G. Sayegh: "Asphaltenes: The Colesterol of Petroleum". SPE (1995), paper 29787
5. Carmen García Carvajal y Mirna: "Aspectos Físico - Químicos sobre la Floculación de Asfaltenos". Revista Sociedad Venezolana de Química, volumen 15, setiembre de 1992.

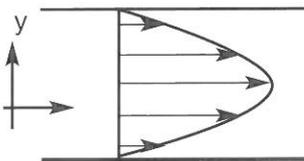


Fig. 1

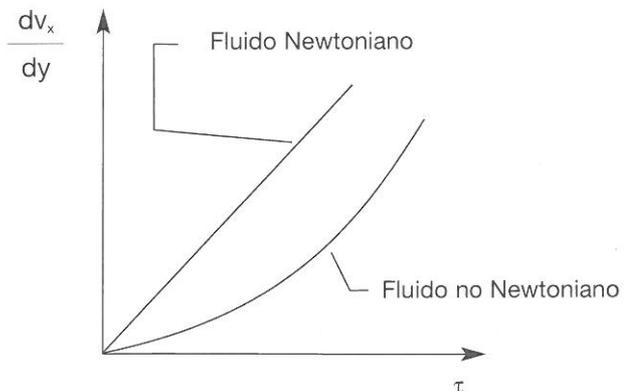


Fig. 2

	PETROLEO A		
	70%	50%	30%
GASOIL	Muestra n° 1	Muestra n° 2	Muestra n° 3
PETROLEO B	Muestra n° 4	Muestra n° 5	Muestra n° 6
PETROLEO C	Muestra n° 7	Muestra n° 8	Muestra n° 9

Petróleo A	
Gradiente de Corte [1/s]	$\eta$ [mPa.s]
4,98	2520
7,36	2510
9,75	2500
12,10	2490
14,40	2480
16,70	2470
19,10	2460
23,70	2450
28,30	2440
35,50	2430
40,20	2420
45,00	2410
49,60	2400

Tabla 2

Muestra n° 4 (70%A-30%B)	
Gradiente de Corte [1/s]	$\eta$ [mPa.s]
8,15	295
16,10	293
21,20	291
26,50	290
29,20	288
34,30	287
37,00	286
39,70	284
42,10	285
47,40	284
49,80	283

Tabla 4

Tabla 1

	$\eta$ [mPa.s]
Muestra n° 1 (70%A-30%B)	28 ± 2
Muestra n° 2 (50%A-50%B)	34 ± 2
Muestra n° 3 (30%A-70%gasoil)	13 ± 2

Tabla 3

	$\eta$ [mPa.s]
Muestra n° 5 (50%A-50%B)	117 ± 2
Muestra n° 6 (30%A-70%B)	34 ± 2

Tabla 5

<b>Muestra 7 (70%A-30%C)</b>	
Gradiente de Corte [1/s]	
	$\eta$ [mPa.s]
5,52	353
8,15	352
10,8	355
16	358
18,6	359
21	360
26,6	362
29,2	366
31,9	371
34,3	373
37	374
39,7	377
42,1	382
44,7	385
47,4	388
49,8	389

Tabla 6

	$\eta$ [mPa.s]
Muestra n° 8 (50%A-50%C)	156 ± 2
Muestra n° 9 (30%A-70%C)	34 ± 2

Tabla 7

> **Muestra n° 1:** 70% de A + 30% de gasoil

Gradiente de Corte [1/s]	Viscosidad [mPa.s]				
	Petróleo A	Gasoil	Muestra n° 1 Experimental	Muestra n° 1 Ley de las mezclas tradicional	Muestra n° 1 Ley de las mezclas según Arrhenius
4,98	2520	3,42	28	1727	314
16,7	2470	3,42	28	1692	310
40,2	2420	3,42	28	1658	306

Tabla 8

> **Muestra n°2:** 50% de A + 50% de gasoil

Gradiente de Corte [1/s]	Viscosidad [mPa.s]				
	Petróleo A	Gasoil	Muestra n° 2 Experimental	Muestra n° 2 Ley de las mezclas tradicional	Muestra n° 2 Ley de las mezclas según Arrhenius
4,98	2520	3,42	34	1278	97
16,7	2470	3,42	34	1253	96
40,2	2420	3,42	34	1228	95

Tabla 9

➤ **Muestra n° 3:** 30% de A + 70% de gasoil

Gradiente de Corte [1/s]	Viscosidad [mPa.s]				
	Petróleo A	Gasoil	Muestra n° 3 Experimental	Muestra n° 3 Ley de las mezclas tradicional	Muestra n° 3 Ley de las mezclas según Arrhenius
4,98	2520	3,42	13	758	25
16,7	2470	3,42	13	743	25
40,2	2420	3,42	13	728	24

Tabla 10

➤ **Muestra n°4:** 70% de A + 30% de B

Gradiente de Corte [1/s]	Viscosidad [mPa.s]				
	Petróleo A	Petróleo B	Muestra n° 4 Experimental	Muestra n° 4 Ley de las mezclas tradicional	Muestra n° 4 Ley de las mezclas según Arrhenius
8,15	2500	5,54	295	1714	364
29,2	2440	5,54	288	1673	358
49,8	2400	5,54	283	1645	354

Tabla 11

➤ **Muestra n° 5:** 50% de A + 50% de B

Gradiente de Corte [1/s]	Viscosidad [mPa.s]				
	Petróleo A	Petróleo B	Muestra n° 5 Experimental	Muestra n° 5 Ley de las mezclas tradicional	Muestra n° 5 Ley de las mezclas según Arrhenius
8,15	2500	5,54	117	1258	119
29,2	2440	5,54	117	1228	118
49,8	2400	5,54	117	1208	117

Tabla 12

➤ **Muestra n° 6:** 30% de A + 70% de B

Gradiente de Corte [1/s]	Viscosidad [mPa.s]				
	Petróleo A	Petróleo B	Muestra n° 6 Experimental	Muestra n° 6 Ley de las mezclas tradicional	Muestra n° 6 Ley de las mezclas según Arrhenius
8,15	2500	5,54	34	748	34
29,2	2440	5,54	34	730	34
49,8	2400	5,54	34	718	34

Tabla 13

> **Muestra n° 7:** 70% de A + 30% de C

Gradiente de Corte [1/s]	Viscosidad [mPa.s]				
	Petróleo A	Petróleo C	Muestra n° 7 Experimental	Muestra n° 7 Ley de las mezclas tradicional	Muestra n° 7 Ley de las mezclas según Arrhenius
8,15	2500	31,1	352	1694	597
29,2	2440	39,2	366	1656	633
49,8	2400	40,6	389	1630	634

Tabla 14

> **Muestra n° 8:** 50% de A + 50% de C

Gradiente de Corte [1/s]	Viscosidad [mPa.s]				
	Petróleo A	Petróleo C	Muestra n° 8 Experimental	Muestra n° 8 Ley de las mezclas tradicional	Muestra n° 8 Ley de las mezclas según Arrhenius
8,15	2500	31,1	155	1231	262
29,2	2440	39,2	155	1206	292
49,8	2400	40,6	155	1187	295

Tabla 15

> **Muestra n° 9:** 30% de A + 70% de C

Gradiente de Corte [1/s]	Viscosidad [mPa.s]				
	Petróleo A	Petróleo C	Muestra n° 9 Experimental	Muestra n° 9 Ley de las mezclas tradicional	Muestra n° 9 Ley de las mezclas según Arrhenius
8,15	2500	31,1	63	847	133
29,2	2440	39,2	63	833	154
49,8	2400	40,6	63	821	156

Tabla 16

Petróleo A

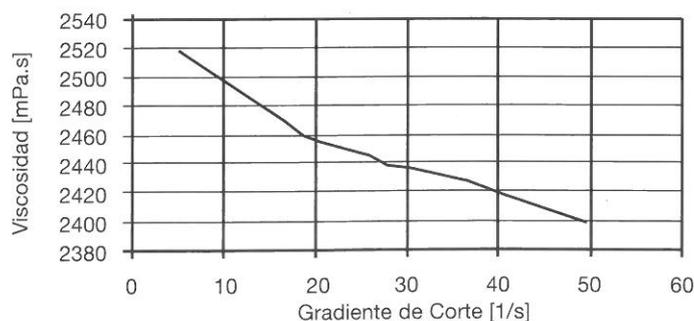
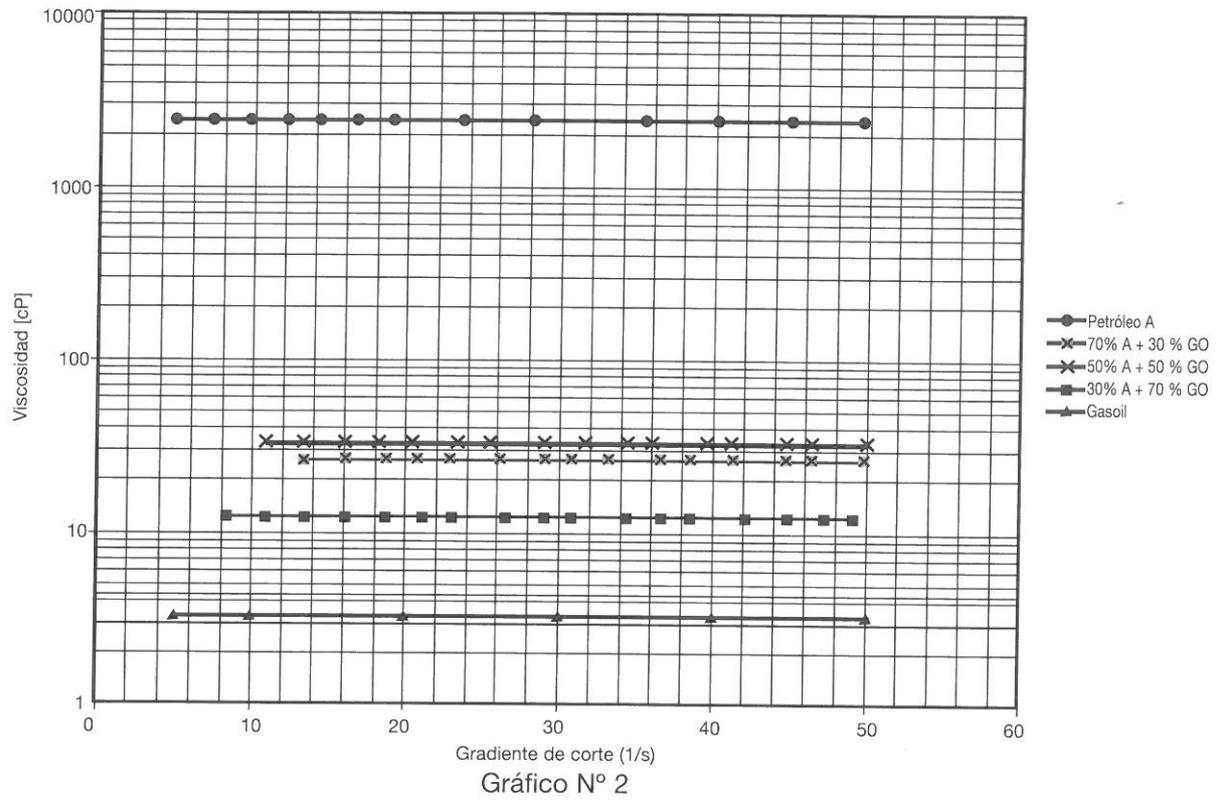
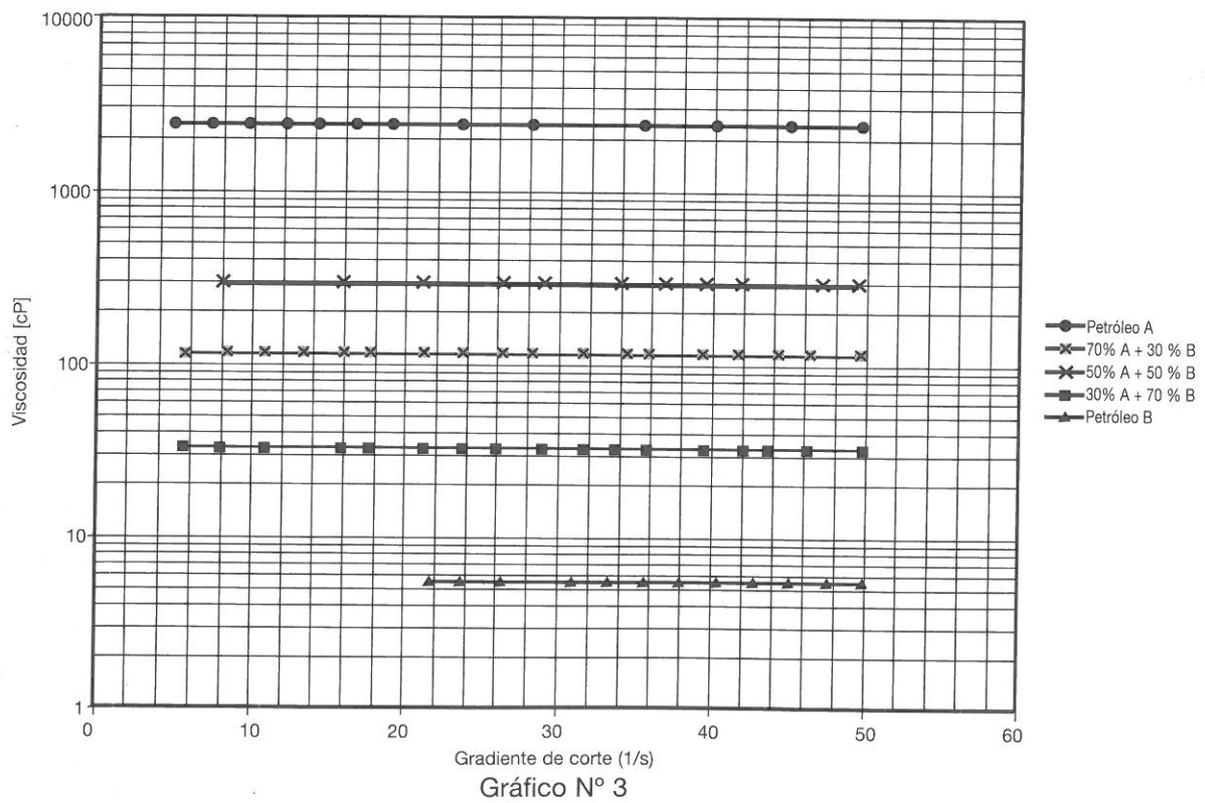


Gráfico 1

Petróleo A - Gasoil



Petróleo A - Petróleo B



Petróleo A - Petróleo C

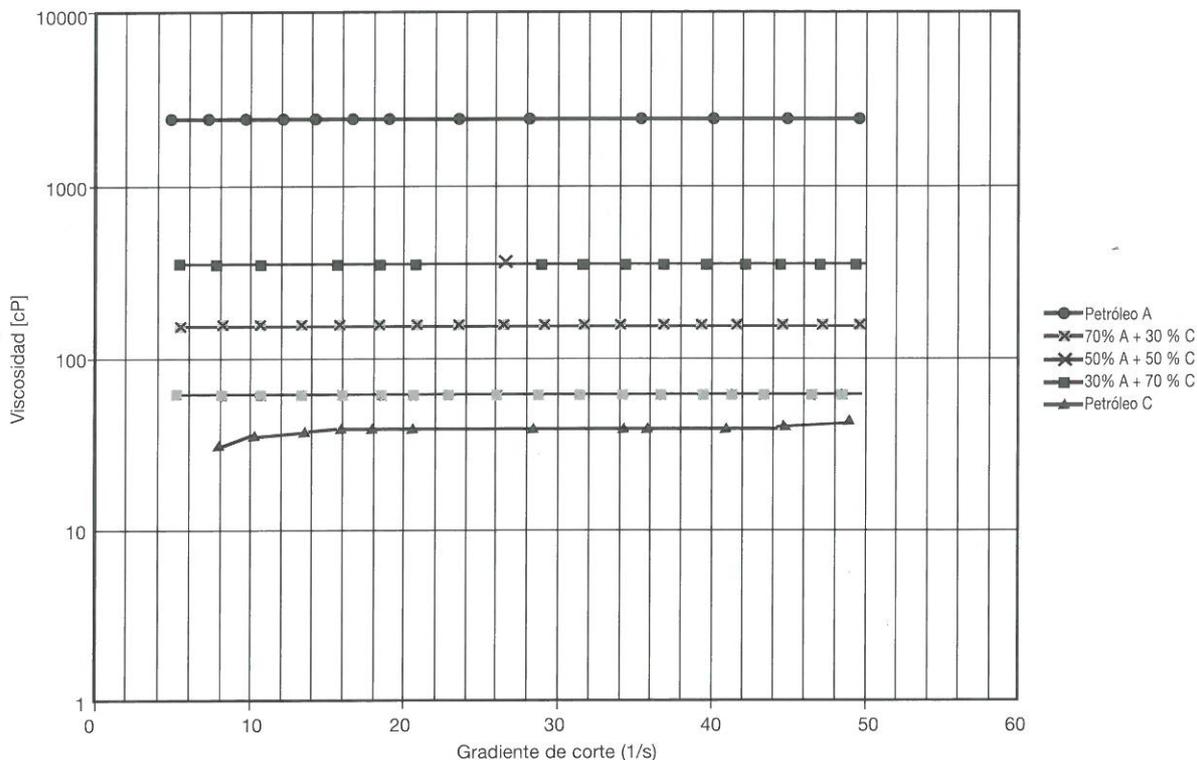


Gráfico N° 4

AGRADECIMIENTOS

Dra. Adriana Fornés  
 Ing. Silvia Maturano  
 Ing. Lourdes Guiñazú

Cecilia Gorosito  
 Juan Manuel Tovar  
 Y.P.F. S.A. por la donación de los equipos que hicieron posible la realización de las experiencias.

ENSHI

**ESCUELA NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE INDUSTRIAL**  
 (Creada por Resolución N° 123/97 y modificatoria N° 22/98)

- Capacitación sobre seguridad en el trabajo, prevención de riesgos, higiene industrial y sus interacciones con el ambiente.
- Cursos modulizados y adecuados a las necesidades de cada actividad y al nivel funcional de los participantes: Desde el obrero no calificado hasta la más alta gerencia.
- Clases en la sede de la Facultad y/o in company.
- Programas orientados a todo el abanico productivo de bienes y servicios: Industria de la construcción, minería, petróleo, gran industria química, etc.
- Certificación y carnet de acreditación.

**INFORMES Y CONTRATACIONES:**

Facultad de Ingeniería - Centro Universitario - Parque General San Martín  
 (5500) Mendoza  
 Tel/Fax: 54-261-4494169  
 Conmutador: 54-261-4234448 - 54-261-4494002 - Fax: 54-261-4380120  
 e-mail: fing@raiz.uncu.edu.ar



# ***EMEPA S.A.***

---

*CALIDAD Y EXPERIENCIA AL SERVICIO DE LA  
INDUSTRIA DEL PETRÓLEO Y EL AGUA*



## **DIVISIÓN PETRÓLEO**

SERVICIOS DE:

- REPARACIÓN Y TERMINACIÓN DE POZOS (WORKOVER)
- INTERVENCIÓN DE POZOS (PULLING)
- LIMPIEZA DE LÍNEAS DE PRODUCCIÓN
- ABANDONO DE POZOS

## **DIVISIÓN AGUA**

- PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA
- PERFORACIÓN DE POZOS PARA EXTRACCIÓN E INYECCIÓN DE AGUA
- PERFORACIÓN DE POZOS DE MONITOREO
- PERFILAJE DE POZOS
- INSTALACIÓN DE BOMBAS DE PROFUNDIDAD

**Administración:** Sarmiento 123 – Luján de Cuyo- Mendoza- Argentina.  
Tel 0261-4985036/4981494. E-mail: [emepa@lanet.com.ar](mailto:emepa@lanet.com.ar)

**Base de Operaciones:** Yacimiento Barrancas- Maipú-Mendoza. Tel: 0261-4989800 Int 4229

# El Recurso Humano en experiencias de implementación de sistemas de calidad en Chile

**Alfredo Sarmiento<sup>1</sup>**

**Alfredo Serpell<sup>2</sup>**

## **SUMARIO**

En este artículo se analiza el grado de participación y las actividades desarrolladas por personal de distintos niveles en el proceso de implementación de Sistemas de Gestión de Calidad en empresas chilenas de la industria de la Construcción.

Dichas empresas han decidido implementar este tipo de sistemas por convencimiento propio, sin la presión de mandantes y, en ese sentido, el enfoque que han adoptado se basa en el desarrollo de un sistema "a medida" para la empresa, sin concentrarse exclusivamente en cumplir con la documentación que establecen las normas ISO 9000. Es importante aclarar lo anterior, debido a que si no se aplica un enfoque correcto los resultados que se pueden obtener pueden ser opuestos a los que se han presentado.

## **SUMMARY**

In this article the participation and activities developed by a staff from different levels in the implementation process of Quality Control Systems in Chilean companies related to Construction are analyzed.

Such companies have agreed to put into practice this kind of systems without any external force. Being quite convinced on them, they have adopted an approach based on the development of a "tailored" system for the company which does not concentrate exclusively to ISO 9000 principles. It is important to study carefully the above concept since if a correct method is not applied it may be obtained opposite results to those exposed.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Las características de las empresas en que se experimentó la implementación de Sistemas de Calidad pueden verse en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de las empresas

---

1- Ingeniero Civil, Ms.Cs. - assarmie@ing.puc.cl

2- Ingeniero Civil, Ms.Cs., Ph.D. - aserpell@ing.puc.cl

Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción,

Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 306, Santiago, Chile.

Sistemas de Productividad y Gestión S.A. Santa Lucía 270 Piso 5, Santiago, Chile.

Empresa	Especialidad	Tamaño	Nº de Proyectos en ejecución
A	Inmobiliaria, Habitacional, Vivienda Social	Pequeña a Mediana	7
B	Obras Civiles, Montaje Industrial, Minería	Mediana	15
C	Edificación en altura, Edificios Industriales, Minería, Obras Viales.	Grande	36

Los Planes de Implementación y las actividades que se describen están basados en un Programa de Mejoramiento de la Calidad en la Construcción [1], que integra las experiencias desarrolladas por un equipo de investigación al que pertenecen los autores [2,3,4,5].

De manera de seguir un orden, se presentarán las características y/o apreciaciones de los distintos niveles según una jerarquía descendente, sin que esto signifique que un nivel sea más importante que otro. Para una implementación exitosa se necesita de la participación y colaboración de todo el personal.

## 2. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN

Se necesita formalizar la organización para la implementación del Sistema en toda la empresa. Dentro de los aspectos que se deben tener en cuenta se mencionan los siguientes:

- Definición del líder del proyecto: debe ser un miembro de la Administración Superior, quien es el encargado de impulsar el Plan general y disponer de los recursos necesarios para llevar adelante las actividades.
- Designación del Jefe y/o Entidad Encargada de la Calidad (E.E.C.) de la empresa: más allá del nombre o del tamaño de dicha entidad, es importante que se preocupe por el diseño, seguimiento, control y evaluación de los planes que se fijen, y de administrar los recursos asignados a la implementación del programa. Las personas de esta oficina deberán ser seleccionados basándose en su flexibilidad, amplitud de criterio, capacidad de liderazgo, experiencia en terreno y ascendencia sobre el personal de terreno.
- Definición del Comité de Calidad Central: la idea es que a este Comité, además de los gerentes, se integren algunos profesionales que ocupen puestos claves en el área de proyectos, en el área administrativa y en la dirección de la empresa, de modo que estén representados todos los involucrados en el proceso.
- Definición del esquema para manejar el sistema de calidad en terreno, incluyendo posiblemente un Jefe de Aseguramiento y Control de Calidad en cada obra dependiendo de la importancia y requerimientos de ellas, Comités de Calidad de Obras y liderazgo del proyecto de implementación en obras. Además, se deben analizar los recursos que se dedicarán a esta labor y la forma en que se manejará la documentación del sistema, tanto a nivel central como en las obras. También puede resultar necesario formar un Comité de Calidad Interproyectos, que sirvan como órgano difusor del programa en la empresa, los cuales dependerán del tamaño de la empresa y la cantidad de proyectos que se manejen simultáneamente.

El esquema que se presenta en la Figura 1 muestra los distintos equipos o Comités de Calidad que pueden formarse en una organización típica y la relación entre las distintas áreas.

## 3. ACTIVIDADES A SER DESARROLLADAS POR LOS DISTINTOS NIVELES

### 3.1 Directivos de la Administración Superior

Los directivos de la Administración Superior son los que deben asumir el liderazgo del proceso de

cambio necesario para implementar el Sistema de Calidad. Como ha sido reconocido por la mayoría de los autores en el tema [6,7,8,9,10,11,12], el éxito del programa se basa en el compromiso de los directivos y su constancia en el esfuerzo, tanto en la participación en las actividades del programa como en la asignación de los recursos necesarios para llevarlas a cabo.

Entre las actividades en que participan los integrantes de este nivel se destacan las siguientes:

- a) Capacitación y compromiso con el programa: recibiendo capacitación específica sobre los conceptos de gestión de calidad, para adoptar el nuevo "lenguaje" de la calidad. También se necesita la presencia y participación activa en cursos de capacitación a los equipos de mejoramiento.
- b) Planificación estratégica: a través de un Taller Interactivo, para que junto con capacitar, se logre el consenso respecto de las estrategias y políticas a aplicar para el desarrollo del Plan de Implementación de la empresa.
- c) Asistencia a las reuniones del Comité Central de Calidad: en el cual, con la participación de personal de proyectos, se haga el seguimiento y control de las actividades planteadas en el Plan de Implementación y se verifique la correspondencia entre los resultados de las actividades con los objetivos y políticas planteadas en la Planificación estratégica.
- d) Motivación del personal: a través de la participación de Directivos en la capacitación, visitas periódicas a terreno para ver el funcionamiento del Sistema de Calidad, e invitaciones a los equipos que han logrado mejoramientos en sus procesos, para que los presenten en reuniones del Comité de Calidad Central o del Comité de Calidad Interproyectos.
- e) Promoción del desarrollo profesional de los trabajadores: se necesita hacer la definición de cargos e identificación de necesidades de capacitación en cada uno de los niveles, desarrollar Planes de Capacitación específicos y realistas, y finalmente, un Plan de Desarrollo de Personal, que establezca las bases para la clasificación, selección, capacitación y promoción del personal dentro de la empresa.
- f) Negociación de acuerdos con subcontratistas, proveedores, clientes y diseñadores. Para incorporar a estos actores en el Sistema de Calidad de la empresa, establecer sistemas de medición de desempeño tendientes a una calificación, formación de alianzas estratégicas, etc.

### **3.2 Entidad u Oficina Encargada de la Calidad (EEC).**

La Entidad Encargada de la Calidad (EEC) es el órgano responsable de la coordinación de las actividades estipuladas en el Plan de Implementación. El personal de esta oficina debe asignar y controlar una secuencia de actividades para cada uno de los equipos de mejoramiento, pero a su vez otorgándoles la flexibilidad necesaria para que escojan sus iniciativas prioritarias, los plazos que van a disponer y las metas de mejoramiento o resultados esperados. El personal de esta oficina generalmente participa en las siguientes actividades específicas:

- g) Organización interna de la EEC: a través de la designación del Jefe del Departamento de Gestión de Calidad (JDGC), y luego, el nombramiento de asistentes, a medida que aumentan las actividades.
- h) Definición de la estructura organizacional para la calidad: se hace un análisis de la organización actual de la empresa, se definen los equipos de trabajo necesarios para llevar a cabo las actividades propuestas (ver Figura 1), y las personas que van a integrar los mismos, con una descripción de las funciones y responsabilidades específicas, especialmente para el líder y facilitador de cada uno de los equipos.
- i) Coordinación de las actividades del Plan General: para ello se hace una Planificación detallada de las actividades definidas en el Plan General, para que sean entendidas por los equipos de trabajo, los cuales desarrollan planes de acción propios, que luego son controlados en función de las actividades que está realizando cada equipo de trabajo, el cumplimiento con los plazos estipulados y las metas o resultados obtenidos.
- j) Presencia activa en las actividades iniciales de los Comités: para presentar la E.E.C., sus funcio-

nes y la relación con los Comités o equipos de trabajo, orientar las charlas a las necesidades específicas de la obra o equipo, apoyar el desarrollo de las reuniones iniciales, el establecimiento de las pautas básicas para el mejoramiento de los procesos seleccionados, la elaboración de los procedimientos, entre otros. El apoyo de esta Entidad a los comités o equipos de trabajo se va disminuyendo gradualmente.

- k) Balanceo de las actividades normales vs. requerimientos del Sistema: para minimizar el impacto que tienen las actividades del Sistema en las funciones normales de producción o administrativas, y evitando la tendencia natural de los equipos de mejoramiento de centrarse en la elaboración de la parte escrita o formal de los procedimientos, consumiendo gran cantidad de tiempo y produciendo muchas frustraciones por la falta de costumbre en la redacción de informes. Esta elaboración debería ser realizada en forma gradual, lo más simple y gráfica posible, y una vez que el equipo haya llegado a un acuerdo sobre el tema.
- l) Promoción de un ambiente de sana competencia: estimulando a los equipos a que se "comparen" entre sí, para que compartan y/o se transmitan las experiencias desarrolladas por cada uno, y de manera eficiente. Se pueden establecer premios internos para los equipos que obtengan los mejores desempeños en los procesos o iniciativas de mejoramiento seleccionados. Los resultados de las auditorías internas programadas por proyecto, pueden ser otra alternativa, reconociendo con un galardón especial al proyecto de mayor puntaje.
- m) Seguimiento y control de las actividades planificadas: el éxito del Programa depende de la detección a tiempo de los errores o deficiencias del mismo y de la proposición de acciones correctivas tendientes a solucionarlos. Las acciones de control pueden ser realizadas a través de la presentación de Planes trimestrales de trabajo por parte de los Comités o equipos.
- n) Definición de un índice de desempeño global: que muestre el grado de avance del Programa (beneficios cualitativos o intangibles versus beneficios concretos). Un buen índice de desempeño global es el control, mantenimiento y registro de los costos de calidad, tanto a nivel de proyectos como a nivel de empresa [1, 13].
- o) Revisión y manejo de la documentación del Sistema: la cual debe ser elaborada por los equipos, y revisada por la EEC antes de ser aprobada por el Comité Central de Calidad. La administración, distribución y control de toda la documentación es una atribución específica de la EEC.
- p) Manejo de un sistema de recolección de reclamos y sugerencias de los clientes: que refleje las necesidades de los clientes presentes y futuros, basado en encuestas periódicas y/o entrevistas con los clientes, investigaciones de mercado, opiniones de los integrantes de los equipos de mejoramiento, entre otros.
- q) Auditorías internas del Sistema de Calidad: para controlar el nivel de avance en la implementación del Sistema de Calidad en forma general, considerando las actividades específicas que se han diseñado en el plan de Implementación, y no sólo la aplicación estricta de modelos como las Normas ISO 9000 o el Premio Nacional a la Calidad, ya que son de aplicación general y no consideran las características particulares de la construcción.
- r) Desarrollo de un sistema de incentivos originales: que se vaya adaptando a las distintas etapas y a los distintos niveles de participantes del proceso.

### **3.3 Líderes de Comités o equipos de trabajo**

Esta función es desarrollada generalmente, por la persona de más alto rango del Comité o equipo de trabajo, tal es el caso de los Administradores en las obras, o de los Gerentes o Jefes de Departamento en las áreas de Oficina Central. El funcionamiento de cada Comité depende en gran medida del compromiso y entusiasmo de los líderes del proyecto, de la misma manera que es fundamental el liderazgo de la Administración Superior para toda la empresa. Entre las actividades que requieren de la participación de estos líderes, se mencionan las siguientes:

- a) Participación activa en la capacitación: con aporte de ejemplos específicos de situaciones de la obra o departamento en particular, y la adquisición de un lenguaje común que facilitará el desarrollo de las actividades.

- b) Desarrollo de las reuniones de Comités: estas reuniones semanales van a ser fructíferas en la medida que los líderes demuestren la importancia y utilidad que tienen las mismas; para ello, es fundamental que se establezcan horarios fijos, exigiendo asistencia y puntualidad a los participantes. Una herramienta que ayuda mucho a darle un toque de formalidad a estas reuniones es el uso de agendas.
- c) Seguimiento de metodología clara y sistemática para el mejoramiento de procesos: ya que si todos los miembros conocen y están informados de las actividades que se están realizando, aumenta el interés y ayuda a la planificación de las acciones.
- d) Balanceo de actividades: a fin de evitar la disyuntiva de atender a las actividades del Comité o las tareas productivas habituales, es necesario que se planifiquen las actividades, tanto productivas como del sistema de calidad, con plazos realistas y balanceando las cargas de los distintos integrantes.
- e) Representación en Comité de Calidad Interproyectos: a fin de uniformar criterios y compartir experiencias entre los distintos proyectos. La frecuencia de estas reuniones puede ser mensual, y entre otros temas se presentan procedimientos de gestión a ser aplicados en toda la empresa como así también se invita a equipos destacados en procesos de mejoramiento a que expongan su experiencia.

#### **3.4 Participantes de los Comités o equipos de trabajo**

Las actividades van a depender de la metodología de mejoramiento de procesos que se adopte y del ritmo de trabajo que se fije cada Comité o equipo de trabajo.

Se pretende que sean los equipos los que fijen sus propios planes de acción, los cuales deben ser presentados a la EEC en forma trimestral, detallando las actividades que van a realizar, sus objetivos, los responsables y los plazos estimados de cumplimiento de las mismas. Entre estas actividades se destacan las siguientes:

- f) Recepción de la capacitación: la cual no debe ser vista como un curso más, sino como una etapa de unificación de conceptos y del lenguaje del sistema de calidad como preparación para empezar a trabajar en equipo. Es recomendable entregar un manual con los contenidos básicos y que las clases deben ser desarrolladas preferentemente en el lugar y horario de trabajo, utilizando ejemplos de la práctica diaria y estimulando a que los asistentes relaten sus experiencias.
- g) Comprensión del nuevo rol de los integrantes en el sistema: para reducir la resistencia natural al cambio debida al desconocimiento de las actividades futuras, para aclarar la relación esfuerzos versus beneficios que trae aparejado el Sistema de Calidad, y para la fijación de las metas y plazos, de modo que no sean ni muy exigentes ni muy relajados.
- h) Participación de las reuniones de los equipos de trabajo: donde los integrantes experimentan una nueva forma de relacionarse, debiendo discutir problemas en el seno del equipo y llegando a acuerdos y compromisos con el resto de los integrantes, siempre en un clima de "discusión positiva o constructiva" potenciada por la visión cliente-proveedor.
- i) Elaboración y utilización de documentos formales: en una etapa posterior al análisis y mejoramiento de los procesos, es necesario que las personas que desarrollan la actividad en forma directa, elaboren documentos que acumulen la experiencia adquirida (procedimientos, instructivos) y que faciliten la realización de los mismos (listas de chequeo, planes de inspección y ensayo). Los documentos que se elaboren deben ser implementados a la brevedad, para darle de esa manera consistencia al Sistema, y que no exista la sensación de que es un trámite burocrático.
- j) Presentación de experiencias en Comité de Calidad Interproyectos: para aumentar la motivación del personal que ha participado del análisis de los procesos y elaboración de la documentación, se invita al equipo a exponer sus avances a las reuniones del Comité de Calidad Interproyectos y/o se organizan visitas a proyectos que deban implementar procesos similares.
- k) Desarrollo de los Cursos de Inducción: esta actividad es esencial para el mantenimiento del Sistema debido a las características de la construcción, donde la rotación es alta sobre todo en los niveles inferiores. En estas charlas, que son preparadas e impartidas por personal del Comité de

Calidad de la Obra, se presenta la empresa, y luego se dan los rudimentos básicos para poder trabajar dentro del Sistema de Calidad a los trabajadores que se van incorporando progresivamente a la obra.

### **3.5 Personal que no participa del programa**

El concepto de calidad total indica que todo el personal debe ser incorporado al proceso de mejoramiento, pero no quiere decir que todo el personal deba ser incorporado desde el principio. Por lo tanto, se debe hacer un proceso de incorporación gradual del personal, a través de los cursos de inducción, atacando las necesidades específicas para hacer más efectivos los esfuerzos que se realicen, hasta lograr una organización ágil y eficiente donde todos los trabajadores se encuentren incorporados al proceso de mejoramiento continuo. Mientras esto se logre, el personal que no participa del programa debe realizar su trabajo sin interferir o entorpecer las actividades del proceso de implementación, hasta que llegue el turno de participar en alguna iniciativa.

### **3.6 Asesorías**

El esfuerzo de implementar un proceso de transformación es grande y a menudo desconocido, por lo cual a veces es necesario contar con el asesoramiento experto de terceros. Si esto sucede se deben establecer claramente cuáles van a ser las funciones y responsabilidades del equipo asesor.

La Administración Superior no debe delegar el esfuerzo en un equipo consultor, éstos deberían ser sólo un apoyo para la adopción de mejores estrategias y control de desarrollo del Plan. La EEC junto con los equipos designados deben ser los protagonistas y motores del proceso si se desean obtener resultados positivos en el largo plazo.

El equipo consultor debería tener mayor participación en el inicio de las actividades, para ir disminuyendo con el tiempo hasta que no sean necesarios, siendo la empresa capaz de mantener el sistema por sus propios medios.

En la Figura 2 se puede observar gráficamente la interrelación de los distintos participantes en pos de un objetivo común, el mejoramiento de la calidad. Al respecto es necesario destacar que se necesita de la transmisión y coordinación de las acciones de todos y cada uno de los niveles para trasladar el movimiento a los trabajadores que están en contacto con los productos y las fallas de calidad, y éstos son los que en definitiva van a mejorar el nivel de calidad de la empresa.

## **4. Conclusiones**

Se ha analizado el nivel de participación que tiene cada uno de los integrantes y sus responsabilidades asociadas, de acuerdo con las funciones y actividades desarrolladas en procesos de implementación en empresas del ámbito nacional.

Se destaca fundamentalmente, la importancia que tiene la participación activa de cada uno de los niveles en sus funciones específicas para una Implementación exitosa del Sistema de Calidad.

Nunca se debe perder de vista que el proceso de implementación se trata básicamente de un cambio cultural de la organización, por lo cual se debe poner especial énfasis en las actitudes de las personas, y en ese sentido hay que destacar que la buena voluntad en solucionar los inconvenientes que se puedan presentar, y el desarrollo de la confianza mutua entre el personal, son valores que producen mayores beneficios que el control estricto de las actividades programadas o el cumplimiento a reglamento de las responsabilidades impuestas por la documentación.

Resulta fundamental lograr un cambio de mentalidad a lo largo de toda la empresa, respecto a la interrelación entre niveles jerárquicos, a la adquisición de responsabilidad por el trabajo propio sin necesidad de controles de sus superiores, a la eliminación de posiciones antagónicas producto de repartir culpas, en lugar de buscar las causas y cooperar entre todos para solucionarlas, y otras actitudes que afectan el normal desarrollo de los trabajos.

Se reconoce además, que la delegación del esfuerzo de implementación a equipos de asesoría, si bien puede facilitar el trabajo de las etapas iniciales, puede llevar a una dependencia tal que haga fracasar el proceso de mejoramiento en el largo plazo.

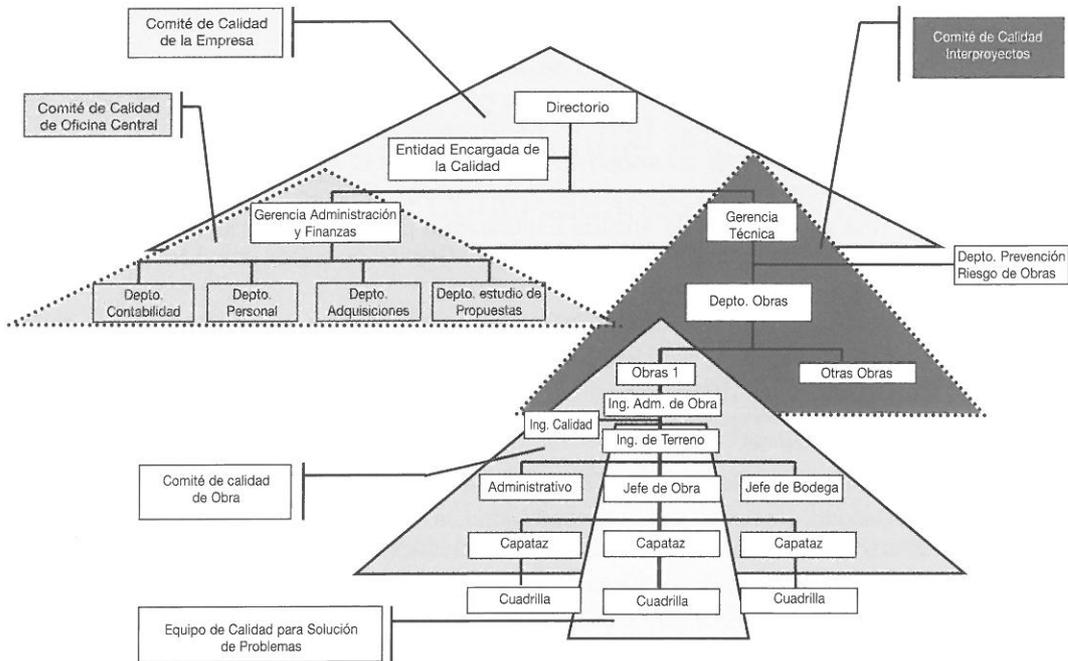


Figura 1: Estructura Organizacional tipo adoptada para la calidad

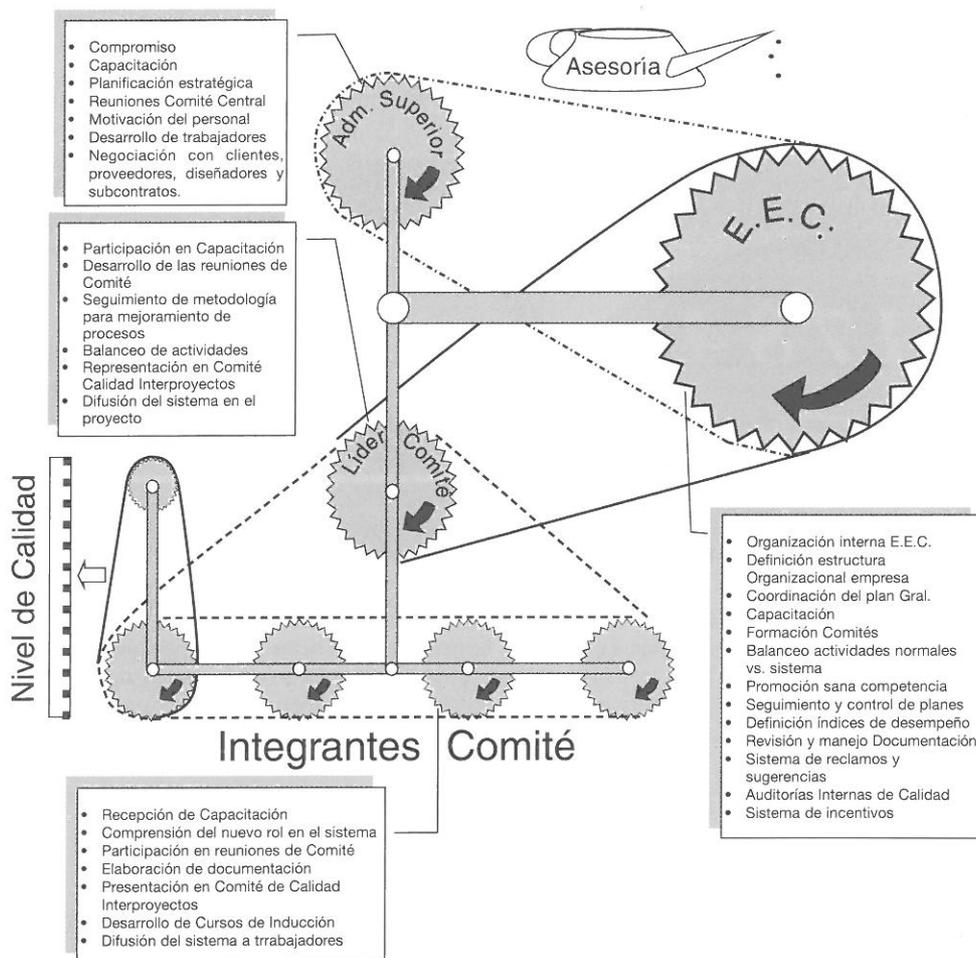


Figura 2: Modelo de participación del Recurso Humano

## 5. REFERENCIAS

- [1] SARMIENTO, A. (1998). Programa de Mejoramiento de la Calidad en la Construcción, Tesis de Magister; Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.
- [2] FIGARI, Claudio (1996). Diagnóstico de la Calidad en la Construcción Chilena. Tesis de Magister. Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, P.U.C. Santiago, Chile.
- [3] MENDOZA, A. (1996). Una Metodología de Análisis Estructurado para el Mejoramiento de Procesos en Construcción, Tesis de Magister; Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 1996.
- [4] OCHOA, G. (1998). Metodología de Diagnóstico de la Calidad para Empresas Constructoras, Tesis de Magister; Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, 1998.
- [5] SERPELL A. y SARMIENTO, A. (1996). Implantación de sistemas de calidad en proyectos de construcción en Chile. Revista BIT, Noviembre '96 , pág.35.
- [6] CROSBY, Ph. (1990). Hablemos de Calidad., Mc Graw-Hill, México.
- [7] DEMING, W.E. (1989). Calidad, productividad y competitividad, la salida de la crisis. Editorial Díaz de Santos.
- [8] JURAN, J.M. (1990). La Planificación para la Calidad. Editorial Díaz de Santos.
- [9] GALGANO, A. (1994). Company Wide Quality Management, Productivity Press, Portland, U.S.A., 1994.
- [10] MACDONALD, J. y PIGGOT, J. (1993). Global Quality: The new management culture, Pfeiffer & Company.
- [11] MUNRO-FAURE, Leslie and Malcolm. (1993). Implementing Total Quality Management, Financial Times, Pitman Publishing, UK.
- [12] GOETSCH, D. & STANLEY, D.(1995). Implementing Total Quality, Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- [13] SJOHOLT, O.y LAKKA, A.(1994). Measuring the results of quality improvement work, Project Report 155-1994, Norwegian Building Research Institute.



**En el Boston, los Ingenieros tienen crédito abierto.**

BankBoston presenta una amplia línea de servicios financieros con beneficios especiales para profesionales de la ingeniería: Préstamos Personales, Tarjetas de Crédito, Cuenta Corriente con sobregiro preacordado y todas las alternativas de nuestro completo menú en Inversiones.

*Comuníquese hoy mismo al (0261)425.9916 - 423.2630 - 425.8833 de lunes a viernes de 8 a 18 horas.*

Y comience a disfrutar de todas las ventajas desarrolladas por BankBoston.



# Análisis microestructural y comportamiento térmico en aleaciones policristalinas de Cu-Zn-Al y Cu-Zn-Al-Zr

Furlani, A.<sup>1</sup>, Stipcich, M.<sup>2</sup> y Romero, R.<sup>2</sup>

## SUMARIO

Se describe la obtención de datos experimentales sobre la caracterización de la transformación martensítica espontánea, en aleaciones de *Cu-Zn-Al-Zr*, con temperaturas de transformación espontánea  $M_s$  alrededor de temperatura ambiente, con laminado y sin él. Mediante microscopía óptica se efectúa el relevamiento microestructural y a través de mediciones resistométricas, se determinan las temperaturas características de transformación. Además se comparan los resultados obtenidos, con valores experimentales similares para aleaciones de *Cu-Zn-Al*, con el objeto de lograr información acerca del rol que desempeña el afinador de grano, *Zr*, durante el trabajado mecánico.

## SUMMARY:

It is described the attainment of experimental data about the characteristics of the spontaneous martensitic transformation in *Cu-Zn-Al-Zr* alloys at temperatures of  $M_s$  spontaneous transformation near room temperature with and without rolled. The microstructural survey is carried out through optics microscopy, and the transformation characteristic temperatures are set up through resistometric measurements. It is also compared the obtained results with experimental values similar to those of *Cu-Zn-Al* alloys in order to get an information about the importance of the grain finisher, *Zr*, during the mechanic working.

## INTRODUCCIÓN

Las aleaciones con memoria de forma base *Cu* han adquirido en los últimos años un particular interés tecnológico debido a su bajo costo y relativa facilidad de procesamiento. El excesivo crecimiento de grano, cuando son tratadas térmicamente a temperaturas correspondientes a las de la región de estabilidad de la fase  $\beta$ , deteriora en general las propiedades de las mismas y, por consecuencia, sus potenciales aplicaciones comerciales. El control del tamaño de grano en aleaciones de este tipo se realiza con el agregado de elementos afinadores adecuados [i,ii,iii], con la aplicación de tratamientos termomecánicos [iv, v], o con ambos [vi, vii]. En particular, se ha señalado que el *Zr* es uno de los elementos más indicados para el efectivo control del crecimiento de grano durante envejecimientos a temperaturas alrededor de 1100 K [i, ii], pero existe poca información acerca del tipo de microestructura generada, y el rol que desempeña la misma tanto durante el proceso de afinado como durante los tratamientos posteriores es algo escasa.

En este informe se presentan datos experimentales sobre la caracterización de la transformación

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo, Centro Universitario, (5500) Mendoza;

<sup>2</sup> Instituto de Física de Materiales Tandil (IFIMAT), Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Pinto 399, (7000) Tandil y Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires.

martensítica espontánea en aleaciones de *Cu-Zn-Al-Zr* con temperaturas de transformación espontánea *M<sub>s</sub>* alrededor de temperatura ambiente, con laminado y sin él. A fin de lograr información acerca del rol que desempeña el afinador de grano durante el trabajado mecánico, se comparan los resultados obtenidos con datos experimentales similares para aleaciones de *Cu-Zn-Al*.

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo de este trabajo se utilizaron muestras extraídas de lingotes de composición química según la tabla 1; la concentración electrónica estimada es de  $e/a = 1.48$ . Los metales utilizados para fabricar las aleaciones fueron de pureza comercial, fundidos en ampollas de cuarzo selladas a las que previamente se les había efectuado vacío con bomba mecánica. Los lingotes fueron homogeneizados a 1073K por 48 h. En el fundido y posterior enfriamiento de las aleaciones, se observó que la presencia de *Zr* afecta la superficie del lingote debido a una reacción con el cuarzo de la cápsula durante el fundido llegando, en algunos casos, a romperla durante la solidificación posterior. Por esta razón, el *Zr* fue introducido a las cápsulas empaquetado en láminas de *Cu*.

aleación- lingote	Cu	Zn	Al	Zr	Imp	<i>M<sub>s</sub></i> (teórica)	<i>M<sub>s</sub></i> (exper.)
1	74.007	17.516	7.450	1.004	≤ 0.023	267 K	283 K
2	75.611	15.388	7.967	1.031	≤ 0.023	317 K	332 K
3	76.340	15.631	8.030	-	-	296 K	303 K

Tabla I: composición de las aleaciones utilizadas (% en peso). Se indican las temperaturas de transformación espontánea experimental y teórica, calculada según [viii]

De los lingotes se cortaron trozos los que fueron laminados a 1123K hasta un 40% del espesor inicial y luego tratados térmicamente a igual temperatura durante 7500 s, a fin de asegurar una completa recristalización del material. De los mismos se cortaron láminas circulares de 2.0 mm de espesor y 25.0 mm de diámetro mediante una cortadora de disco de diamante de baja velocidad, los que finalmente fueron pulidos con lija de grano 000. Para su posterior análisis, las muestras fueron pulidas mecánicamente y atacadas químicamente con 10cc. de hidróxido de amonio, 10cc. de agua y 10cc. de persulfato de amonio para el revelado de la microestructura. La cuantificación y caracterización de la microestructura se realizó con ayuda de un adquisidor de imágenes incorporado a un microscopio óptico.

La determinación de las temperaturas características se realizó sobre muestras de sección rectangular de (3 x 3 x 25) mm mediante medidas resistométricas, de acuerdo al método de las cuatro puntas.

## RESULTADOS OBTENIDOS

### Microestructura de la aleación

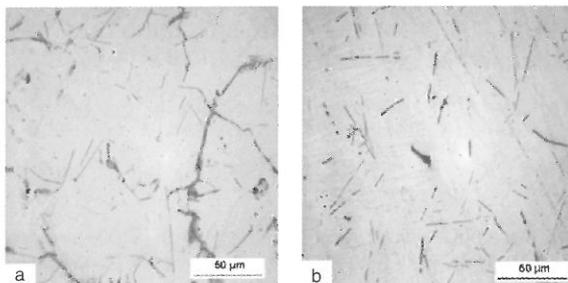


Figura 1: muestra de *Cu-Zn-Al-Zr*, sin trabajado mecánico (a) y laminada (b) (10 x).

En el pulido, en las muestras sin modificador de grano sólo se revela la fase matriz ( $\beta$ ). En las muestras con el agregado de Zr, en cambio, la microestructura característica se presenta en la figura 1 (a y b) sin y con trabajado mecánico, respectivamente. En ambos tipos de muestras, se observan partículas precipitadas alargadas, de borde muy agudos, de tamaño entre  $10\mu\text{m}$  y  $30\mu\text{m}$  de diámetro y entre  $100\mu\text{m}$  y  $300\mu\text{m}$  de largo, dispersas en forma aproximadamente uniforme en el volumen del grano. En las muestras sin laminado, además, se observa que en los bordes de grano se forman pequeños conglomerados de partículas de tamaño levemente mayor que el de las mencionados anteriormente. En las muestras laminadas se encuentran, también, precipitados algo más pequeños y menos alargados pero de características microestructurales muy similares por lo que se estima que serían del mismo tipo, producto de la fractura durante el laminado en caliente.

Aún no se ha realizado una determinación de la composición de la fase precipitada; se estima que podría tratarse de algún compuesto rico en Zr, como los comúnmente encontrados en aleaciones de composición similar [1] o se podría tratar de partículas de algún compuesto de Zr con algunos de los componentes que forman la aleación.

La fracción de volumen de partículas precipitadas es similar para muestras con y sin laminado, siendo alrededor de  $f_v = (3.6 \pm 0.3)\%$ .

## TEMPERATURAS CARACTERÍSTICAS

En las Figuras 2 (a) y (b) se muestra el comportamiento de la resistividad en función de la temperatura de ensayo, de muestras laminadas de *Cu-Zn-Al* y *Cu-Zn-Al-Zr*. Las temperaturas características de transformación espontánea ( $M_s$ ,  $M_f$ ,  $A_s$  y  $A_f$ ) se determinaron a partir del apartamiento de las rectas determinadas por las zonas correspondientes a la fases  $\beta$  y M (ver figura 2 - a). La histéresis en el ciclo  $\beta \leftrightarrow M$ , es similar para ambos tipos de muestras. Considerando que el cambio de entropía ( $\Delta S$ ) durante la transformación es la misma para el material con y sin afinador de grano, de acuerdo a [1], se puede estimar la energía disipada en la transformación espontánea ( $\Delta E$ ), resultando  $\Delta E = 15.9 \text{ J/mol}$  para *Cu-Zn-Al* y  $\Delta E = 11.2 \text{ J/mol}$  para *Cu-Zn-Al-Zr*. El comportamiento de la resistividad, dentro de un rango de temperaturas de ensayo más amplio, para una muestra laminada de *Cu-Zn-Al-Zr* se presenta en la figura 3. El cambio de pendiente de la curva obtenida corresponde al ordenamiento del tipo  $L2_1$  que presenta el material alrededor de la temperatura indicada en la figura ( $T_{L2_1} \approx 680 \text{ K}$ ). De acuerdo a la composición de la muestra [1], la temperatura de orden esperada estaba alrededor de  $T_{L2_1} \approx 660 \text{ K}$ .

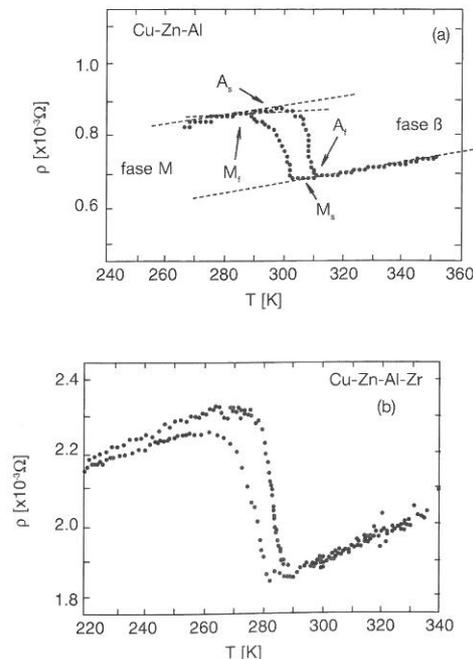


Figura 2: ciclo  $\beta \leftrightarrow M$  para Cu-Zn-Al; se indican las temperaturas de transformación espontánea.

Es importante destacar que se observa un corrimiento entre las temperaturas  $M_s$  calculadas teóricamente a partir de la composición de la aleación de *Cu-Zn-Al-Zr* y la encontrada experimentalmente ( $\Delta M_s \approx 15$  K); si bien se encuentra dentro del apartamiento esperado resultante del proceso normal de fabricación [x], es algo mayor que el correspondiente observado para *Cu-Zn-Al* ( $\Delta M_s \approx 7$  K).

## CONCLUSIONES PARCIALES

Con respecto a la microestructura observada:

Comparando las muestras de *Cu-Zn-Al* con las de *Cu-Zn-Al-Zr*, se observa la presencia de precipitados finos y alargados ricos en *Zr*, con el agregado de afinador de grano.

No se observan cambios importantes ni en la microestructura característica ni en la fracción de volumen precipitada con el laminado de las muestras de *Cu-Zn-Al-Zr*.

Durante el trabajado mecánico en caliente, parte de las partículas precipitadas se fracturan.

Con respecto a las temperaturas características de transformación:

El agregado de *Zr* en aleaciones base *Cu-Zn-Al* tiende a aumentar las temperaturas de transformación espontánea en aproximadamente 15 K.

La histéresis observada en el ciclo  $\beta \leftrightarrow M$  para las aleaciones de *Cu-Zn-Al* es similar al observado en las muestras con afinador de grano.

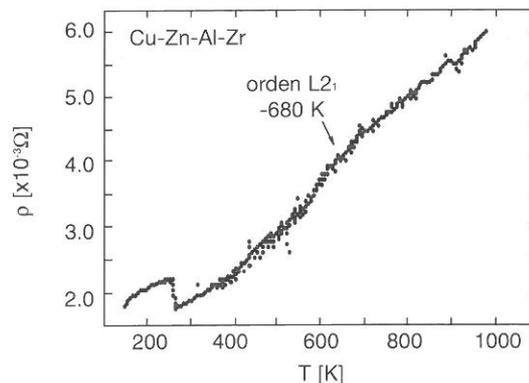


Figura 3: comportamiento de la resistividad de una muestra laminada de *Cu-Zn-Al-Zr* en función de la temperatura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- i J.S.Lee et al; "Grain Refinement of *Cu-Zn-Al* Shape Memory Alloys", *Metallography* 19 (1986), p.401;
- ii D.N.Adnyana; *Metallography* 18 (1985), p.187;
- iii R.W.Cahn; "Physical Metallurgy", ed.R.W.Cahn and P.Hassen, 3ra de., p.1595, Holanda, North-Holland Physics Publishing;
- iv R.Elst, et al; "Grain Refinement During Solidification of  $\beta$ -*Cu* Based Alloys", *Z.Metallkde.* 77 (1986), p.421;
- v G.N.Sure, et al; *Met.Trans.* 15A (1984), p.1613;
- vi G.N.Sure, et al; *Met.Trans.* 15A (1984), p.1613;
- vii H.Morawiec, et al; *Z.Metallkde* 81 (1990), p.419;
- viii M Ahlers; "Martensite and Equilibrium Phases in *Cu-Zn* and *Cu-Zn-Al* Alloys", *Progr. in Mat. Sc.* 30 (1986), p.135;
- ix R.Romero and J.L.Pelegrina; *Phys. Review B* 50 (1994), p.9046;
- x R. Rapacioli and M. Ahlers; *Scripta Metall.* 11 (1977), 1147;
- xi R. Romero; tesis doctoral, 1988, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

# Intensificación del efecto invernadero

## Análisis del estado de conocimiento actual

Hugo H. Martínez<sup>1</sup>

### SUMARIO

Las actividades humanas contaminan el aire, el agua y los suelos. Particularmente se eyecta en la atmósfera una cantidad importante de gases que participan en la intensificación del "efecto invernadero natural". Los científicos que consagran su vida al estudio de las consecuencias de esta polución global, piensan que el riesgo que la generación actual hace correr a las generaciones futuras es suficiente como para poder justificar acciones inmediatas, en vista de atenuar los efectos causales.

### SUMMARY

Human activities pollute the air, water and land. It is particularly ejected an important amount of gases in the atmosphere which then takes part in the intensification of the "natural winter effect". Those scientists who devote their lives to the study of the consequences of this global pollution think that the risk today generation brings about to future generations is well enough to justify immediate actions to smooth the derived effects.

### EL DEBATE

El número de artículos sobre el efecto invernadero no cesa de crecer, ya se trate de artículos científicos, de vulgarización o de polémica. Polémica, ya que la controversia difundida proviene de personas que no han participado en el esfuerzo de los equipos de gente especializada. Atraídos por el suceso mediático del cuestionamiento, los polémicos se distinguen generalmente por sus declaraciones fulminantes (frecuentemente erróneas) y sin fundamento documentado (crítica gratuita). Debe quedar claro que los debates son parte de la investigación y son generalmente fuente de progreso, a condición de que sean ubicados sobre bases científicas sólidas.

Los medios de comunicación (y por lo tanto el público) tienen la costumbre de retener solamente las declaraciones extremas. Estas se reparten entre las declaraciones voluntariamente catastrofistas de aquellos que aseguran un futuro recalentamiento global con consecuencias dramáticas (como el aumento del nivel de los mares), y la pasividad inquietante de aquellos que se atrincheran detrás de sus incertezas científicas para conservar tanto el monopolio de la información como las prerrogativas, cosa de no comprometerse en invertir desde el presente en pos del porvenir de las generaciones

---

<sup>1</sup>- Master Science en Mecánica de Medios Geofísicos y del Medio Ambiente (Especialidad Atmósfera, Hielo y Océanos), Universidad Joseph Fourier (Grenoble, Francia).  
- Doctor en Geofísica, Geoquímica y Geomecánica, Universidad Joseph Fourier (Grenoble, Francia).  
- Profesor Titular Fac. Ingeniería (U. N. de Cuyo).  
- Investigador del CONICET, Area de Ciencias de la Tierra y de la Atmósfera.  
- Coordinador del Area de Física del Instituto de Ciencias Básicas (U. N. de Cuyo).

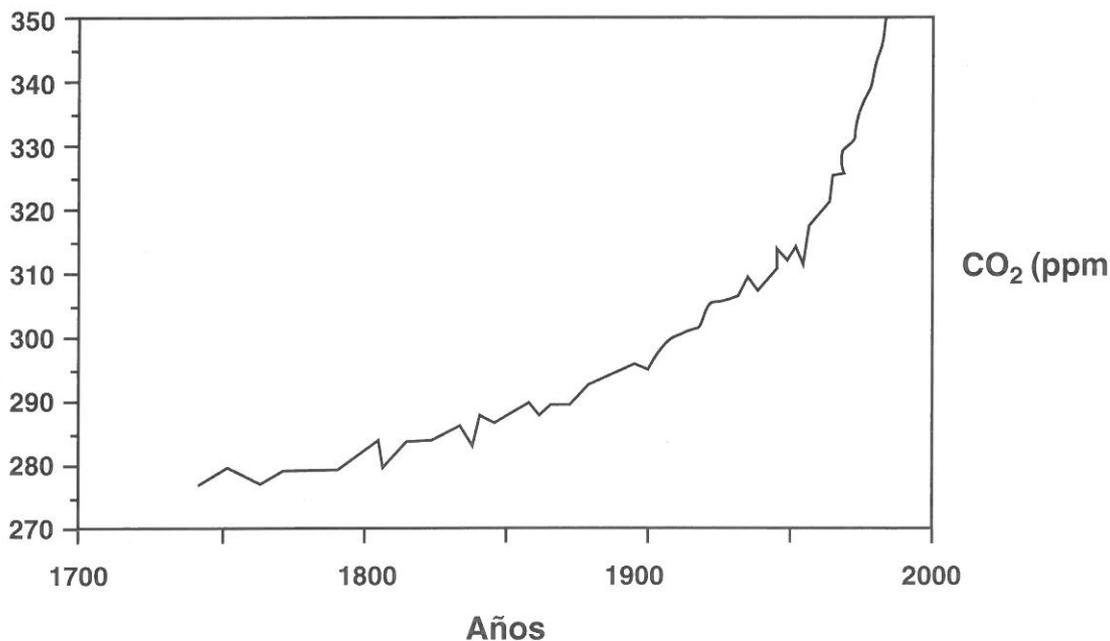
futuras. Entre las dos posiciones anteriores se encuentran los que, a partir de cálculos repetibles, piensan que un peligro real amenaza la Tierra, sin alarmismo pero en términos responsables.

### VARIACIONES NATURALES DEL CLIMA

El clima es el producto de una interacción compleja entre la atmósfera, los océanos, la superficie terrestre y los hielos (continentales y marítimos). El origen de los fenómenos climáticos proviene de la radiación solar, disponible "en permanencia" sobre la Tierra. Sin embargo, la comprensión en detalle del clima es compleja debido a las interacciones no lineales entre todas las partes involucradas. El clima ha experimentado y seguirá experimentando variaciones naturales, tal como se explica en # **Clima, Dióxido de Carbono y Radiación solar.**

### REVISION DEL PASADO

Las emisiones de origen humano aumentan sensiblemente en la atmósfera el contenido de gases responsables del efecto invernadero: gas carbónico (CO<sub>2</sub>), gas natural (metano o CH<sub>4</sub>), freones (clorofluorcarburos o CFC) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Por ejemplo, el análisis de las burbujas de aire incrustadas en los hielos de Antártida y Groenlandia muestran, sin duda alguna, que la concentración en CO<sub>2</sub> ha pasado de 280 ppmv (partes por millón en volumen) en el inicio de la revolución industrial, a 360 ppmv en 1992. Esto significa un aumento del 29% en doscientos años y donde sólo el 10% se ha producido en el curso de los últimos treinta años (figura a).



**Figura a:** Variaciones de la concentración del CO<sub>2</sub> en el aire (expresada en partes por millón) desde 1774.

Desde 1744 hasta 1965, las variaciones fueron obtenidas a partir del análisis del aire atrapado en testigos de hielo extraídos en el sitio Stiple, Antártida. (Fuente: Instituto de Física de la Universidad de Berna). A partir de 1965 el contenido de CO<sub>2</sub> es el que ha venido midiéndose continuamente en el sitio Mauna Loa, Hawai. La comparación de todos los tipos de medidas de CO<sub>2</sub> atmosférico realizadas en el curso de los últimos 30 años presenta una gran coincidencia, mostrando la realidad del fenómeno de aumento de gas carbónico y comprobando al mismo tiempo la validez de las medidas realizadas en testigos de hielo más ancianos.

Es necesario remarcar el carácter exponencialmente creciente de esta curva. En efecto, sobre una escala más amplia de tiempo, estos mismos análisis muestran que la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire era de 200 ppmv en el último máximo glaciario (hace más de veinte mil años). Las actividades humanas emiten treinta mil millones de toneladas de CO<sub>2</sub> por año, ligadas a la deforestación (23%), a la producción de electricidad (23%), al transporte (22%), a la industria (16%) y a los hogares y comercios (16%). Por lo tanto estas actividades han contribuido a aumentar en el curso de los últimos doscientos años la cantidad de CO<sub>2</sub> en el aire a una velocidad cien veces más rápida que los procesos naturales. Aquí reside el verdadero problema, ya que el medio ambiente no tiene tiempo de adaptarse a los cambios que nosotros le hacemos seguir, lo que puede conducir a un deterioro irreversible.

En virtud de las leyes de la Física, el aumento de la concentración de estos gases en el aire conduce a una intensificación del efecto invernadero natural. Recordemos la importancia de este último, ya que al crear una temperatura aproximada de 15 °C en la superficie de la Tierra, ha permitido a la vida instalarse en nuestro planeta (ver # **El efecto invernadero natural y su intensificación**). No es para nada superfluo recordar que la protección de esta vida está ligada a otro fenómeno natural del que se habla bastante: la filtración de los rayos ultravioletas del sol por parte de la capa de ozono estratosférica.

## LA COMPLEJIDAD DEL PROBLEMA

Los hechos anteriormente mencionados son irrefutables. Los modelos actuales de simulación del comportamiento del clima permiten predecir que si el aumento de la concentración de los gases que contribuyen al efecto invernadero continúa, se producirá un recalentamiento de la geósfera. Tal vez se discuta sobre la validez de los modelos, pero nadie ha podido construir uno (fundado en los mejores conocimientos actuales) que no conduzca a un aumento de la temperatura a continuación de un incremento del contenido de dióxido de carbono en el aire.

De todas formas no se conoce precisamente la magnitud de tal incremento de temperatura, ya que dependerá del modo de vida de los pueblos, de la evolución demográfica y de la respuesta del océano en particular. La lentitud de las reacciones del océano y los efectos del enfriamiento debido a la presencia de polvo ambiental y de aerosoles sólidos (ya sean de origen volcánico o antrópico), impiden por el momento determinar en forma precisa la incidencia de las actividades humanas sobre el clima, en el sentido de su variabilidad natural (ver # **El clima de los últimos 100 años**).

## EL DESAFÍO A LLEVAR A CABO

Lo expuesto anteriormente no significa que el impacto humano no exista y que no haya que preocuparse. Tampoco se trata de crear pánico sino de reflexionar y saber proceder. La toma de conciencia y la identificación del peligro vencen al miedo y son los primeros pasos indispensables hacia una lucha racional que pueda conducir a una solución aceptable por una gran mayoría de países. Más que protegese frente a las evidencias cotidianas del deterioro de nuestro medio ambiente, cada uno de nosotros (y en particular los países industrializados, desde donde el ejemplo debiera provenir) debe reconocer la parte de responsabilidades que le concierne, día a día, en el proceso de polución global.

Esta toma de conciencia sólo puede concretarse a partir de una educación apropiada, con relación al medio ambiente y al clima. De esta forma cada uno podrá juzgar la importancia del problema y tomará conciencia de las responsabilidades tanto individuales como colectivas. Por supuesto que para esto hay que formar "maestros" desde el presente, de forma tal de poder garantizar una enseñanza profunda y de calidad para todos los niveles. La creación de esta enseñanza, que debe conducir a una ética del medio ambiente, debería inmediatamente ser tomada en cuenta por la Universidad, ya que requiere una información sólida pero basada sobre una investigación de calidad.

Contrariamente a lo que algunos pretenden, el mensaje de los especialistas no se quiere ni angustiante ni pesimista, sino científicamente objetivo. La lucha contra el derroche energético (para un uso más racional y eficaz de la energía) y contra la deforestación intensiva, es de todas formas benéfica ya que permite preservar nuestras fuentes naturales y también asegurar un desarrollo

durable cualquiera sea la salida final del problema ligado a las consecuencias del efecto invernadero.

El riesgo del desequilibrio (tal vez sólo transitorio) que el desarrollo industrial y económico de la segunda mitad del siglo XX hace correr a la generaciones futuras, ha alcanzado un umbral donde la gravedad exige que todos los fenómenos puedan ser estudiados con más medios y atención. Es ésta la única condición necesaria para que la calidad de las previsiones del "estado futuro" del mundo pueda mejorarse rápidamente y ayudar así a un desarrollo en armonía con nuestro sistema de vida. Debe existir entonces una concertación urgente e indispensable entre las diferentes disciplinas involucradas: por una parte, geofísicos, climatólogos, oceanógrafos, biólogos y agrónomos, y por otra, sociólogos, economistas y hombres políticos responsables y encargados de la planificación territorial y del desarrollo.

Más preocupados por un bienestar inmediato, nosotros hemos ignorado hasta el presente una síntesis aproximada del impacto de nuestras múltiples actividades. Por eso es el momento de considerar y examinar nuestra acción global en un sistema a la escala de la Tierra. Nosotros deberíamos estar inquietos por poner en marcha una medicina preventiva de la geósfera, antes que se imponga la medicina curativa tradicionalmente utilizada para la salud. Está en nosotros la elección, al menos que prefiramos esperar (con los riesgos que ello significa) que la Naturaleza decida por nosotros.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- "Atmospheric Chemistry and Physics, from Air pollution to Climate Change". John H. Seinfeld & Spyros N. Pandis. Wiley Interscience. ISBN 0-471-17816-0.
- "Microphysics of Clouds and Precipitation". Hans R. Pruppacher & James D. Kett. Kluwer Academic Publishers. ISBN 0-7923-4409-X.
- "Fundamentals of Atmospheric Physics". Murry L. Salby. Academic Press. ISBN 0-12-615160-1.
- "Thermodynamics of Atmospheres and Oceans". Judith A. Curry & Peter J. Webster. Academic Press. ISBN 0-12-199570-4.
- "Topics in atmospheric and interstellar physics and chemistry". ERCA (European Research Course on Atmospheres), Edited by C. Boutron. Published by Les Editions de Physique Les Ulis ; 477 pp, 1994. ISBN 2-86883-241-5.
- "Clouds Dynamics". Robert A. Houze, Jr. Academic Press. ISBN 0-12-356881-1.
- "Le climat de la Terre: un passé pour quel avenir?". André Berger. Editorial De Boeck Université; 479 pp, 1994. ISBN 2-8041-1497-00.
- "Glossary of Weather and Climate" with related oceanic and Hidrologic Terms. Ira W. Geer, Editor. American Meteorological Society. ISBN 1- 878220-21-7.

## # CLIMA, DIOXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) Y RADIACIÓN SOLAR

Las dos curvas de la figura b representan las variaciones, en el curso de los últimos 160.000 años, de la temperatura y del contenido de CO<sub>2</sub> del aire en la región de Vostok (Antártida del Este). Esta información ha sido obtenida a partir de análisis de testigos de hielo extraídos en la estación soviética de Vostok. Las perforaciones realizadas alcanzaron los 2.546 m de profundidad, permitiendo remontar en el tiempo hasta 250.000 años aproximadamente (fuente: Laboratorio de Glaciología y de Geofísica del Medio Ambiente del Centro Nacional de la Investigación Científica (CNRS) de Francia y de la Universidad Joseph Fourier de Grenoble, Francia). La concentración de CO<sub>2</sub> proviene del análisis químico de las burbujas de aire atrapadas en el hielo, que son testigos de la atmósfera del pasado. Los valores de temperatura se deducen a partir de las variaciones en la composición isotópica del hidrógeno del hielo (figura b). Esta curva de temperatura del aire es similar a la del volumen total de hielo obtenido a partir de medidas de la relación <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O efectuadas en conchas de foraminíferos bentos que reposan en el fondo de los océanos (curva punteada de la figura c (fuente: Laboratorio de Bajas Radiactividades de Giv-sur-Ivette, Francia).

Hace veinte mil años el volumen de hielo sobre la Tierra superaba el valor actual en aproximadamente cincuenta millones de metros cúbicos. El norte de los continentes americano y europeo estaba recubierto de hielo (de dos a tres kilómetros de espesor). El nivel de los océanos era 130 metros más bajo que el presente y la temperatura media del aire en la superficie terrestre era de sólo 5°C inferior a la que conocemos hoy en día.

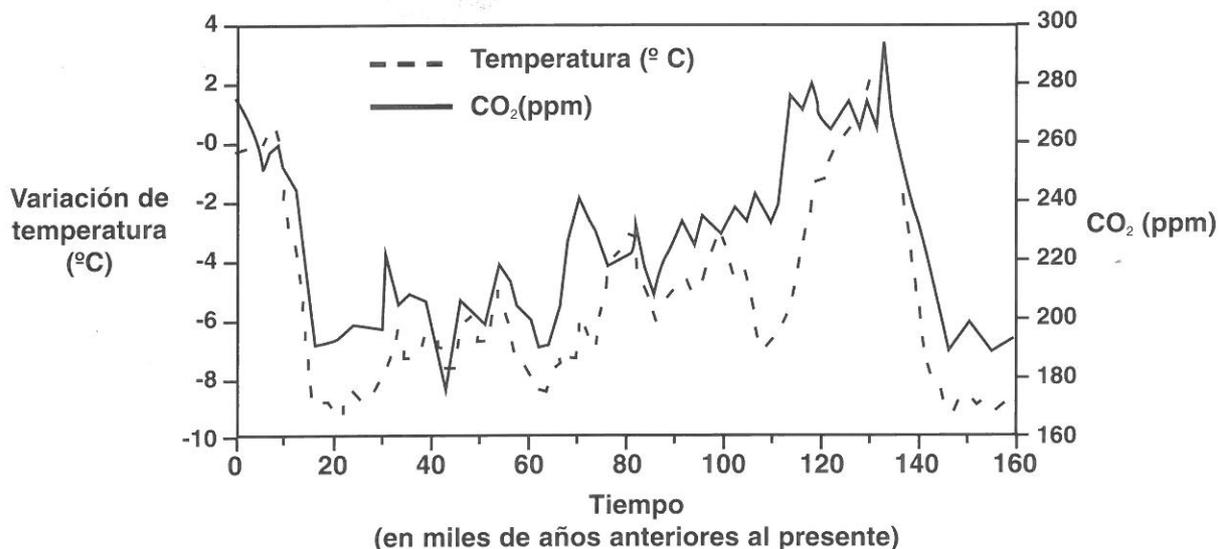


Figura b: Variaciones de temperatura y de CO<sub>2</sub> en el curso de los últimos 160.000 años

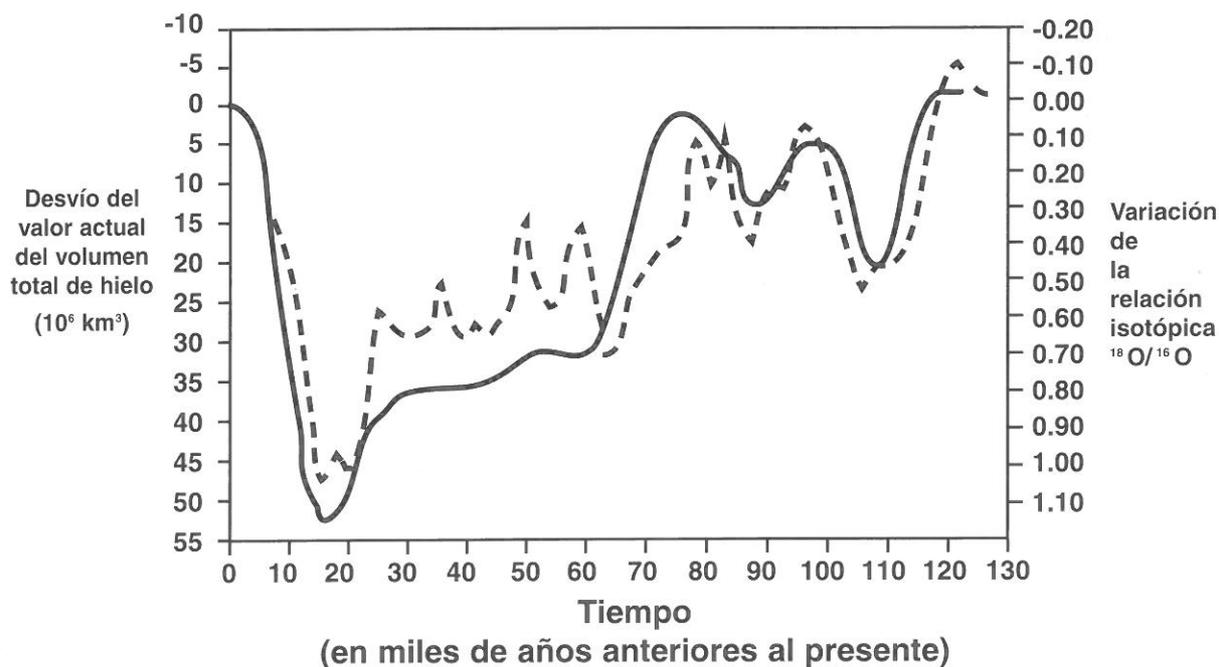


Figura c: Variaciones de volumen total de hielo deducido de las medidas <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O en los foraminíferos bentos (curva punteada) y calculadas por uno de los modelos (curva continua).

Estas variaciones en grandes períodos de tiempo han sido simuladas y reproducidas por primera vez de manera confiable (ver curva continua de la figura c) en el Instituto de Astronomía y de Geofísica de la Universidad Católica de Lovaina (Bélgica), en 1992. El modelo utilizado, basado en las ecuaciones de conservación de la masa, de la cantidad de movimiento y de la energía, tiene en cuenta las interacciones complejas entre los diversos componentes del sistema climático, a saber: la atmósfera,

los océanos, la criósfera y los continentes. También utiliza la concentración atmosférica de  $\text{CO}_2$  y las variaciones astronómicas de la energía solar. Estas últimas fueron calculadas en los años setenta en el Instituto anteriormente mencionado y actualmente son utilizadas por todos los laboratorios en el mundo que se interesan y ocupan de los problemas de paleoclimas. En dicha gran escala de tiempo, las variaciones de los elementos o parámetros ligados a la órbita terrestre (definidos por la Mecánica Gravitacional o Celeste) y a la energía solar recibida (que se corresponden con los primeros), inducen cambios climáticos que perturban los ciclos bio-geoquímicos. Estos a su vez varían la concentración en  $\text{CO}_2$  del aire, modificación que por retroacción amplifica aún más el cambio climático inicial.

Si tan sólo la energía solar recibida por la Tierra continúa variando, las previsiones en la escala astronómica nos muestran que vamos hacia una nueva edad glaciaria a una tasa de enfriamiento medio del orden de  $0,01\text{ }^\circ\text{C}$  por siglo, y esto durante los próximos sesenta mil años. Este tipo de investigación fundamental sobre el comportamiento pasado y futuro del clima sirve para mostrar el rol independiente del efecto invernadero natural (ver # **El efecto invernadero natural y su intensificación**).

### # EL EFECTO INVERNADERO NATURAL Y SU INTENSIFICACIÓN

Los satélites nos permiten saber que la intensidad de la radiación solar incidente sobre el sistema terrestre es de  $342\text{ W/m}^2$ , pero también nos dicen que nuestro planeta utiliza  $237\text{ W/m}^2$ , reflejando los  $105\text{ W/m}^2$  restantes hacia el espacio interplanetario (ver # **El clima y las variaciones climáticas**, figura e). Si la atmósfera no existiera (ver # **Estructura vertical de la atmósfera**, figura f), el equilibrio entre esta energía solar absorbida por la superficie terrestre y la energía infrarroja que esta última emite en función de la ley del cuerpo negro (cuadro nº 6), conduciría a una temperatura efectiva de  $-18\text{ }^\circ\text{C}$ , es decir  $33\text{ }^\circ\text{C}$  menos que la temperatura actual del aire en superficie (que es efectivamente de  $15\text{ }^\circ\text{C}$  en media global y anual). Estos  $33\text{ }^\circ\text{C}$  de más son la manifestación de la importancia del rol de nuestra atmósfera y representan a la vez la potencia del "efecto invernadero natural".

Este efecto se cuantifica, para el caso de la Tierra real con su atmósfera (ver # **Clima y circulación general de la atmósfera**, figura g), por la diferencia entre lo que la superficie emite ( $390\text{ W/m}^2$ ) y lo que la Tierra globalmente restituye al espacio ( $237\text{ W/m}^2$ ). Dicha diferencia ( $153\text{ W/m}^2$ ) representa el porcentaje (38%) de la energía emitida por la superficie que resta atrapada por la atmósfera. Esto se debe a la presencia de gases que absorben eficazmente la energía infrarroja, llamados precisamente gases de efecto invernadero, que por orden de importancia son: el vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), el dióxido de carbono o anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), el ozono ( $\text{O}_3$ ) y los clorofluorcarburos (CFC). Si bien estos últimos son únicamente de origen antrópico, los otros provienen a la vez de fuentes naturales y de fuentes ligadas a las actividades humanas.

De todas formas, cualquiera sea el origen, el aumento de estos gases en la atmósfera refuerza la captura de parte de la energía emitida por la superficie terrestre, conduciendo así a una intensificación del efecto invernadero natural. Esta intensificación directa ha sido calculada para las emisiones antrópicas de los últimos 250 años, gracias al conocimiento detallado de las propiedades radiactivas de dichos gases.

A menudo surge la siguiente pregunta: si el vapor de agua es el principal de estos gases que contribuye a reforzar el efecto invernadero, por qué se habla tan poco de él? En realidad, existen tantas moléculas de vapor de agua en el aire, que las actividades humanas (vía irrigación intensa o incluso construcción de grandes embalses) no alcanzan a modificar la concentración inicial de manera medible. El efecto directo debido al aumento de la concentración en vapor de agua es por lo tanto despreciado. Sin embargo, tal no es el caso si se considera el efecto indirecto del "gas agua". Si la superficie terrestre sufre un calentamiento o aumenta levemente su temperatura (cualquiera sea la causa, por ejemplo un aumento significativo de  $\text{CO}_2$  en el aire) entonces la evaporación aumenta (teniendo en cuenta que la superficie del globo está constituida en sus tres cuartas partes por océanos).

Por lo tanto, la concentración en vapor de agua (primer gas a efecto invernadero) aumenta significativamente reforzando así el calentamiento inicial. Esta retroacción ligada al vapor de agua, es

un proceso tenido en cuenta hoy en día por todos los modelos de simulación de cambios climáticos globales, y juega un rol primordial en el calentamiento final inducido inicialmente por el solo aumento de la concentración de otro gas de efecto invernadero.

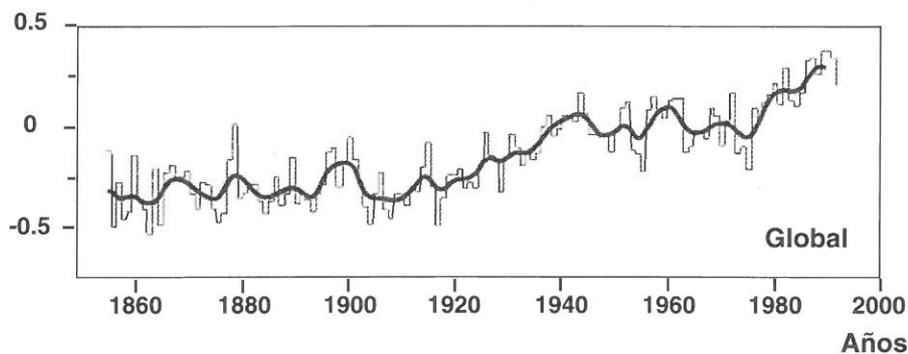
## # EL CLIMA DE LOS ÚLTIMOS 100 AÑOS

En el curso de los últimos 100 años, la temperatura media del globo ha aumentado entre 0,5 °C y 1 °C, teniendo en cuenta el intervalo de error proveniente de la incerteza de las medidas (fuente: Unidad de Investigación Climática de la Universidad de East Anglia, EEUU). Este calentamiento global es del mismo orden que el previsto por los modelos, cuando se toma en cuenta sólo el aumento observado (en la era industrial) de gases de efecto invernadero. Sin embargo, dicho aumento de temperatura es del mismo orden que la variabilidad natural del clima en la escala del siglo. En efecto, desde el último período interglaciario (hace algunos 6000 años) el clima no ha dejado de fluctuar con una amplitud media de alrededor 1 °C, en la escala de algunos siglos. Es así que el clima cálido de la Edad Media permitió a los Vikingos atravesar el Atlántico Norte para establecerse en Groenlandia, sin ser perturbados por la deriva excesiva a causa de los icebergs. Este período fue seguido de una Pequeña Edad Glaciar entre los siglos XVI y XIX. El retroceso de los grandes glaciares desde fines del siglo XIX, marcan el comienzo del recalentamiento que caracteriza el siglo XX.

Es cierto que este recalentamiento no es uniforme sobre la Tierra, ni constante en el tiempo: ciertas regiones se calientan más que otras, incluso algunas se enfrían. Tal complejidad no es más que la imagen del sistema climático mismo. Por ejemplo, la figura d muestra claramente un enfriamiento en los años 1945 a 1955, y 1960 a 1975.

Este último intervalo es seguido de un calentamiento importante en el curso del decenio 1980-1990, siendo el año 1990 el más cálido (batiendo todos los récords absolutos desde que se realizan las observaciones meteorológicas).

Además de los gases de efecto invernadero, hay que considerar otros factores de perturbación, tales como los polvos ambientales (también llamados aerosoles sólidos), ya sean de origen natural (volcánico por ejemplo) o antrópico (industrial, en particular). La confiabilidad de los modelos de simulación, utilizados para el cálculo (o modelado) del clima, ha podido ser también verificada con relación al efecto de estos polvos ambientales, como por ejemplo luego de la erupción en 1991 del Monte Pinatubo, en Filipinas. El enfriamiento en unas décimas de grado centígrado observado hacia fines de 1991 y en 1992, fue correctamente previsto por los modelos algunos meses después de la erupción. Este efecto de enfriamiento por parte del polvo ambiental comienza a comprenderse mejor. Una de las razones por las cuales el recalentamiento que debería resultar de las emisiones de gases de efecto invernadero (que ocurren desde el siglo XIX) no ha podido separarse del ruido de la variabilidad natural, puede deberse justamente al enfriamiento que provocan los polvos emitidos por las actividades humanas, conjuntamente a las emisiones de gases de efecto invernadero.



**Figura d:** Variaciones de la temperatura media del aire en la superficie de la Tierra desde 1850 hasta 1992. Los valores fueron determinados en relación a la media calculada sobre período 1950-1979.

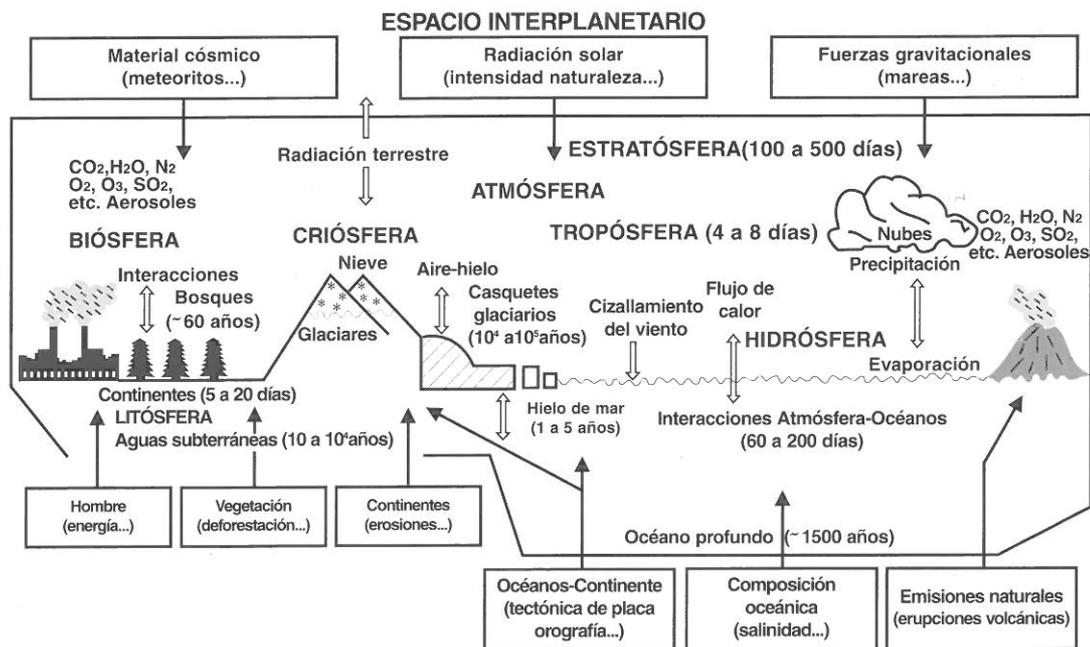
## # EL CLIMA Y LAS VARIACIONES CLIMATICAS

El clima está caracterizado por el conjunto de condiciones meteorológicas que prevalecen en un lugar dado y que dependen del tiempo: no se describe únicamente en función de valores promedios, sino también de los valores extremos y sus variaciones. La climatología estudia no solamente las leyes estadísticas de distribución temporal de los eventos meteorológicos locales y su diferenciación espacial, sino también las leyes físicas que gobiernan la evolución del sistema climático completo, constituido por la atmósfera, la hidrósfera, la criósfera, la biósfera, la litósfera más el conjunto de sus interacciones complejas (figura e).

De esta forma el clima engloba la variable tiempo y la evolución de los parámetros estadísticos que lo caracterizan, diferenciando convenientemente el tiempo de la meteorología que influencia nuestra vida cotidiana y el del clima que modela el desarrollo socio-económico a las escalas del decenio o del siglo. En todas las partes de la Tierra, el clima fluctúa no solamente de manera apreciable de año en año, sino que lo hace gradualmente, de forma que el decenio o el siglo transcurridos pueden diferir sustancialmente del precedente.

Estas fluctuaciones y los cambios a largo alcance son el resultado de procesos que actúan sobre el sistema y que determinan el clima terrestre. Hasta el presente, estos procesos estaban ligados exclusivamente a factores intrínsecos del sistema y a factores externos, tales como los elementos astronómicos y los eventos solares y cósmicos. A la hora actual, es cierto que el hombre comienza a transformarse en un factor de influencia significativa en la historia del clima. Este fenómeno, del cual se ha tomado conciencia recientemente, no está ligado únicamente a la influencia local evidente del hombre (resultante de la urbanización y la polución atmosférica clásica), sino sobre todo a la influencia que el hombre comienza a tener sobre el clima a la escala planetaria.

Si bien los científicos no pueden aún predecir exactamente cómo será la evolución temporal de dicha influencia ni cómo se hará sentir regionalmente (a pequeña escala), desde el presente ya es posible describir los cambios atmosféricos que se producirán en los próximos decenios (cambios que están esencialmente caracterizados por un recalentamiento a la escala global). A causa de las incidencias inevitables que tal efecto tendrá sobre el Medio Ambiente, es obvio que los conocimientos de la naturaleza y de tal impacto son cruciales para el desarrollo futuro en armonía por y para la humanidad.



**Figura e:** El sistema climático y sus cinco componentes: Atmósfera, hidrósfera, criósfera, biósfera y litósfera. Los números entre paréntesis representan el tiempo característico de cada parte del sistema.

## # ESTRUCTURA VERTICAL DE LA ATMÓSFERA

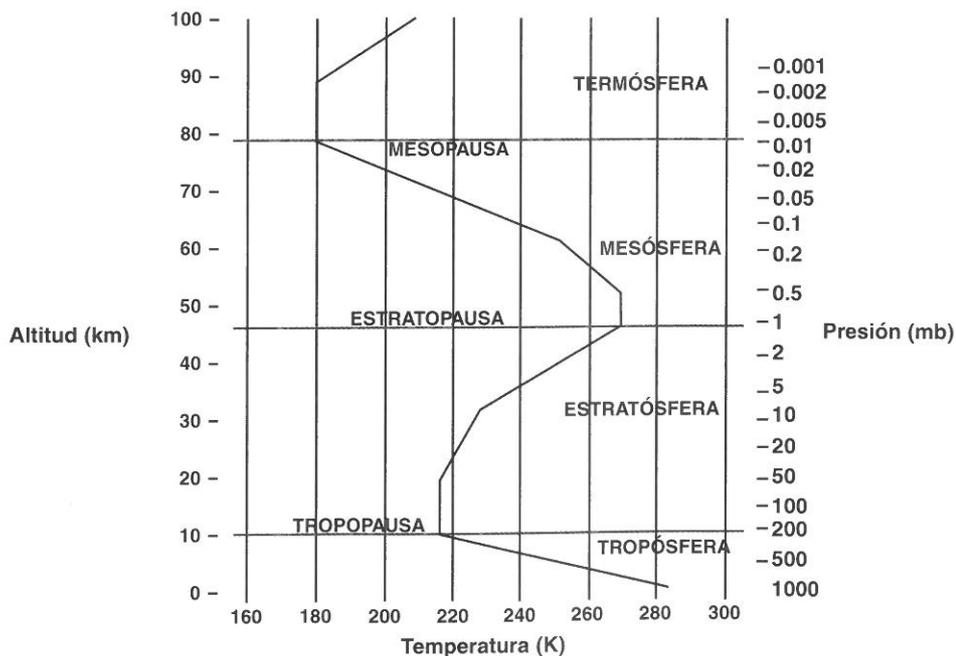
Es generalmente la temperatura quien sirve de criterio para definir la estructura vertical de la atmósfera. El gráfico de la figura f reproduce el perfil vertical de temperaturas de la atmósfera, representativo de las condiciones típicas a latitudes templadas. Se distinguen cuatro capas: la tropósfera, la estratósfera, la mesósfera y la termósfera.

La tropósfera contiene más del 80% de la masa de la atmósfera terrestre, como así también casi la totalidad del vapor de agua de las nubes y de las precipitaciones. Se caracteriza además por la disminución de la temperatura (a medida que la altitud aumenta) a razón de 6,5 °C por kilómetro, y por poseer una mezcla de gases responsable de un tiempo de residencia relativamente corto para los aerosoles (de algunos días hasta algunas semanas).

La transición entre la tropósfera y la estratósfera (tropopausa) está definida por una marcada inversión de temperatura. Esta se acompaña de un cambio neto en la concentración de ciertos constituyentes: por ejemplo, contrariamente a la tropósfera, la estratósfera es rica en ozono. Este gas absorbe la parte ultravioleta de la radiación solar, conduciendo de este modo a una temperatura próxima a 0°C en la cima de la estratósfera (llamada estratopausa). La estratósfera está en equilibrio radiativo. Su estabilidad en el sentido hidrostático permite a los aerosoles presentes (por ejemplo las cenizas volcánicas y los restos de explosiones nucleares en altitud) radicarse por largo tiempo. Por otro lado, dicha estabilidad característica de la capa estratosférica dificulta la penetración de los constituyentes troposféricos.

La mesósfera abarca una parte de la ionósfera (región por encima de los 70 km donde la absorción de una parte de la radiación solar conduce a la formación de iones y electrones libres) y la parte inferior de la región donde se observan las auroras. Como en la tropósfera, la temperatura disminuye con la altitud. Los movimientos verticales pueden ser suficientes en verano como para producir finas nubes plateadas por encima de las regiones polares.

La termósfera se extiende sobre varias centenas de kilómetros hacia el encuentro del espacio interplanetario. En esta última capa la temperatura varía de 200 a 2000 grados Kelvin, y depende por supuesto de la actividad solar.



**Figura f:** Estructura vertical de la atmósfera: distribuciones de presión (expresada en milibares) y de temperatura (en grados Kelvin).

## # TEMPERATURA EFECTIVA, EFECTO INVERNADERO Y TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE TERRESTRE

La cantidad total de energía solar que llega a la Tierra es la que pasa a través de un disco de radio  $R$ , igual al de la Tierra, y perpendicular a los rayos provenientes del Sol. Si  $S_0$  representa la constante solar, cuyo valor actual está comprendido entre  $1365 \text{ W/m}^2$  y  $1372 \text{ W/m}^2$ , dicha cantidad de energía es igual a:  $\pi R^2 S_0$ . Una parte de esta energía ( $\alpha$ ) es reflejada por la atmósfera y por la superficie terrestre. Por lo tanto, distribuida sobre toda la Tierra de superficie  $4 \pi R^2$ , la cantidad de energía realmente disponible por unidad de superficie de nuestro planeta está dada por:

$$\frac{S_0}{4} (1 - \alpha)$$

Globalmente, la Tierra debe entonces re-emitar una cantidad de energía equivalente dada por la ley de Stéfán-Boltzman ( $\sigma T_e^4$ ), de forma que en el equilibrio se cumpla:

$$\frac{S_0}{4} (1 - \alpha) = \sigma T_e^4 \quad [1]$$

donde  $T_e$  es la llamada temperatura efectiva y representa la temperatura de emisión infrarroja de la Tierra, considerada como un cuerpo negro (tal como es percibida por los satélites);  $\sigma$  es una constante igual a  $0,567 \cdot 10^{-7} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ ;  $\alpha$  medida por los satélites vale aproximadamente 0,3 y  $T_e$  es de  $255 \text{ K}$  ( $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ ), lo que corresponde a una emisión infrarroja de  $237 \text{ W/m}^2$ .

Si la atmósfera fuera transparente a esta radiación, la temperatura en la superficie de la Tierra  $T_s$  sería entonces también de  $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pero las observaciones dan una  $T_s$  del orden de  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  (correspondientes a una emisión de  $390 \text{ W/m}^2$ ). La diferencia,  $T_s - T_e$ , de  $33 \text{ }^\circ\text{C}$  representa los  $153 \text{ W/m}^2$  de la energía atrapada por la atmósfera. Esta es la manifestación del efecto invernadero y se debe al hecho que ciertos constituyentes atmosféricos, denominados gases de efecto invernadero, absorben eficazmente la radiación infrarroja emitida por la atmósfera y la superficie de la Tierra. Si la emisividad de la superficie se designa por  $\varepsilon$  ( $\varepsilon = 1$ ) y si  $\tau$  representa la transmisividad global de la atmósfera, [1] puede escribirse como:

$$\frac{S_0}{4} (1 - \alpha) = \varepsilon \tau \sigma T_s^4 \quad [2]$$

De acuerdo a los valores convencionales de  $S_0$ ,  $\alpha$ ,  $\varepsilon$  y  $T_s$ ,  $\tau$  es aproximadamente igual a 0,6.

Finalmente, la ecuación [2] nos muestra que mientras más pequeña sea la transmisividad  $\tau$  (lo que reflejaría un almacenamiento más importante de energía infrarroja por parte de la atmósfera), más elevada deberá ser  $T_s$  para valores constantes de los otros parámetros. Tal aumento de la energía retenida por la atmósfera (debido por ejemplo al actual incremento en la concentración de gases de efecto invernadero) conduce entonces a una intensificación del efecto invernadero natural por parte del hombre, y a un recalentamiento consecuente de la superficie terrestre.

## # CLIMA Y CIRCULACION GENERAL DE LA ATMOSFERA

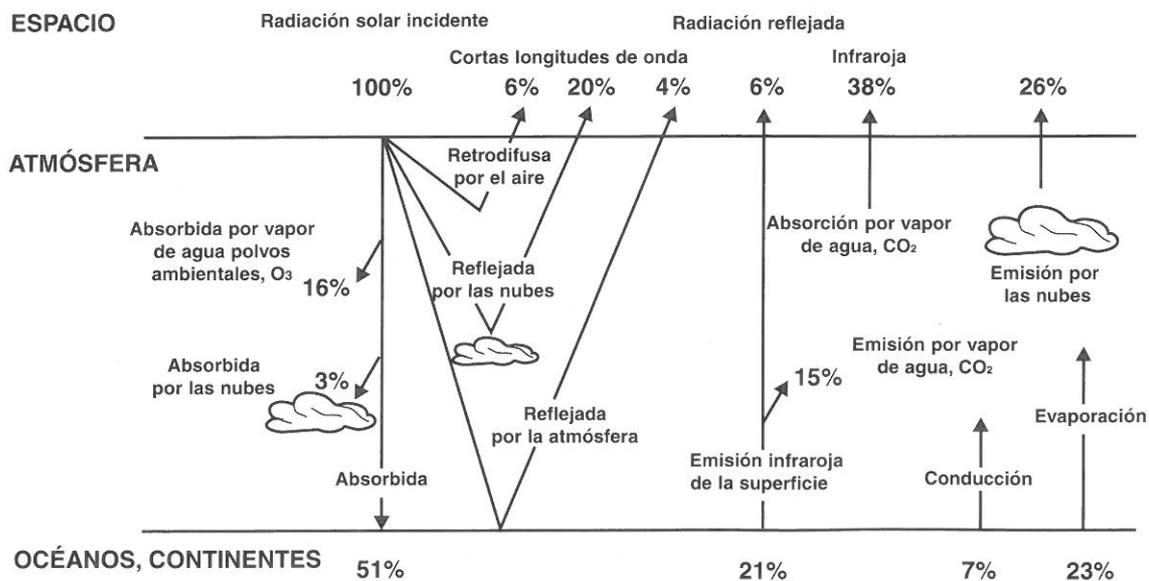
La paleoclimatología y la climatología dinámica tienen por objeto los estudios ligados a las causas de los cambios climáticos, a fin de poder estimar el clima futuro. Además de la complejidad de cada componente del sistema climático, hay que considerar la dificultad que existe debido a sus interacciones y al amplio espectro de tiempos característicos, que se extiende desde algunos días

para la atmósfera hasta varios miles de años para los casquetes polares.

El sistema climático es en efecto un enorme depósito en el que la materia, la energía y la cantidad de movimiento son no solamente almacenados sino también transformados y redistribuidos. La energía indispensable para la formación y la evolución de los movimientos atmosféricos y oceánicos, más los procesos que los acompañan, provienen en un último análisis del Sol. Es por este motivo que hace falta controlar el comportamiento de la radiación solar a través del sistema climático.

La fracción de la energía solar que es absorbida por el sistema (=70%) se transforma en calor. El sistema climático emite entonces una radiación térmica equivalente (condición de equilibrio) cuya intensidad depende sobre todo de la temperatura de los cuerpos emisores. En efecto, la radiación infrarroja emitida por la superficie terrestre es reabsorbida por las componentes de la atmósfera (principalmente el vapor de agua y el dióxido de carbono), lo que define también (vía efecto invernadero) la temperatura media global del aire en la superficie de la Tierra.

Para poder comprender el clima de la Tierra hace falta, en primer lugar, analizar su balance energético medio, tal como está representado en la figura g. El 99% de la radiación solar incidente en el sistema terrestre ( $342 \text{ W/m}^2$ ) es de corta longitud de onda. En promedio sobre toda la Tierra y en un año, 30% de esta radiación es reflejada hacia el espacio, mientras que el 70% restante ( $237 \text{ W/m}^2$ ) es absorbida por el ozono estratosférico, por el vapor de agua, por las nubes y los aerosoles de la tropósfera ( $68 \text{ W/m}^2$ ) y por la superficie ( $169 \text{ W/m}^2$ ). Por lo tanto para mantener el balance energético, debe emitirse radiación infrarroja hacia el espacio y en cantidad equivalente a la radiación solar absorbida. La superficie emite  $390 \text{ W/m}^2$ , de los cuales  $20 \text{ W/m}^2$  van a atravesar la "ventana atmosférica", y el resto es absorbido por la tropósfera. La atmósfera, habiendo absorbido [ $68 \text{ W/m}^2 + 370 \text{ W/m}^2$ ], re-emite  $217 \text{ W/m}^2$  hacia el espacio y  $327 \text{ W/m}^2$  hacia la superficie. Un rápido balance radiativo muestra que el exceso de energía en la superficie ( $106 \text{ W/m}^2$ ) debe ser compensado por los procesos no-radiativos como lo son la evaporación ( $90 \text{ W/m}^2$ ) y la conducción ( $16 \text{ W/m}^2$ ). El equilibrio se restablece entonces gracias a este apareamiento convectivo entre la superficie y la atmósfera.



**Figura g:** Balance energético de la Tierra. El 100% de la energía solar incidente representa  $342 \text{ Wm}^2$ . La emisión neta infrarroja de la superficie (21%) es el resultado de una emisión (6%) a través de la ventana atmosférica y del balance (15%) entre la energía emitida por la superficie y absorbida por la atmósfera (110%) y la energía emitida por la atmósfera y absorbida por la superficie terrestre (95%).

*Esim S.R.L es una empresa joven dedicada al mantenimiento,  
reparación y construcción de elementos constitutivos de máquinas  
rotantes y alternativas de las más variadas potencias.  
Orientada a prestar servicios a la industria de procesos continuos.*



*Esim S.R.L aplica en todos los niveles de la organización una  
adecuada capacitación para la implementación del  
“Sistema de Aseguramiento de la Calidad”, tomando como  
rectores los requerimientos establecidos por la norma  
**IRAM/ IACC/ ISO 9002/94***

**Esim** S.R.L.

# OFERTA DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNCUIYO

- ✓ **MAESTRÍA EN LOGÍSTICA** (Colaboran: Ecole Superieure Internationale de Logistique, Centre D'enseignement et de Recherche en Logistique, Ecole Nationale d'Ingenieurs de Metz, Université de Metz, Universidad de Santiago - Chile y Universidad Politécnica de Valencia - España).
- ✓ **ESPECIALISTA EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL** (Auspicia: UNESCO y P.H.I., colabora Universidad Federico Santa María, Valparaíso - Chile).
- ✓ **MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN EN FABRICACIÓN - CONTROL DE PROCESOS, ROBÓTICA** (Colabora: Universidad Politécnica de Madrid, España; EUIT de Telecomunicación).
- ✓ **MASTER IN INTERNATIONAL BUSSINESS** (en conjunto con la Facultad de Ciencias Económicas de la UNCuyo y de la Ecole Française de Ponts et Chaussées de Francia).
- ✓ **MASTER EN PETROLEUM ENGINEERING** (a distancia con la Universidad Heriot Watt de Edimburgo, UK).
- ✓ **DOCTORADO EN INGENIERÍA** (Colaboran: Universidades Nacionales de San Luis, San Juan, Córdoba y La Plata; Universidad Politécnica de Madrid y Universidad Politécnica de Cataluña, España; Universidad de Maryland, USA; Universidad Católica de Chile; UFZ de Leipzig, Alemania y Universidad Central de Venezuela).

I.S.S.N. 0326-1220

Impreso en Mendoza, República Argentina

Se terminó de imprimir el 30 de noviembre de 1999 en

**INCA EDITORIAL Cooperativa de Trabajo Ltda.**

Ituzaingó 3073 - 5500 Mendoza - Telefax 54-261 - 4305595-4307405 - E.mail: incagraf@slatinos.com.ar

