



10º Congreso Nacional del Medio Ambiente (Conama 10)

Captura y almacenamiento de CO₂

Transporte de CO₂ por tubería

Jesús Manuel Gil

ENAGAS, S.A.



Martes 23 de noviembre de 2010



Título de la ponencia

ÍNDICE

1.- ASPECTOS GENERALES DEL TRANSPORTE DE CO2

2.- CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL FLUIDO

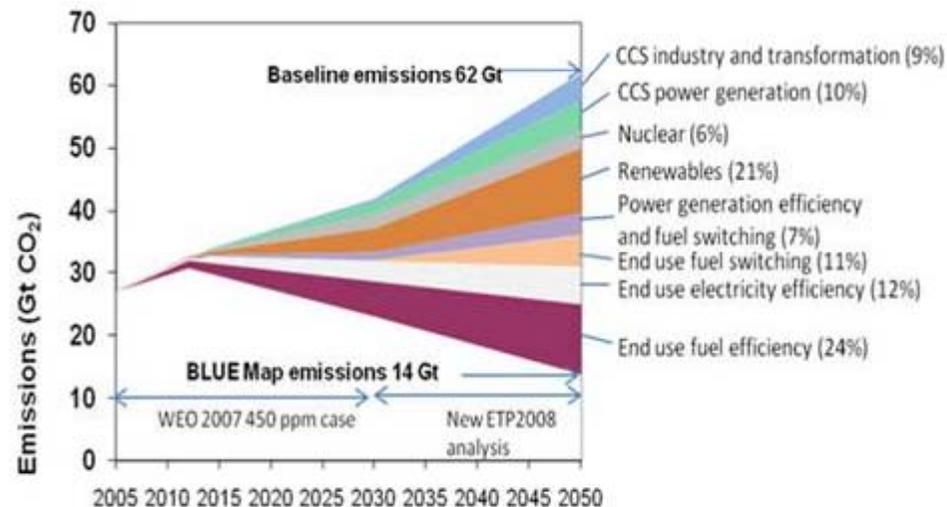
3.- RETOS FUTUROS A MEDIO Y LARGO PLAZO

DE ACUERDO AL ÚLTIMO INFORME DE LA AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA (IEA/CSLF REPORT TO THE MUSKOKA 2010 G-8, SUMMIT), SE DESTACAN TRES ASPECTOS FUNDAMENTALES PARA EL DESARROLLO DE LOS PROYECTOS CAC:

1. EL DESARROLLO DE UNA INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE ARMONIZADA SE CONSIDERA UN PUNTO CRÍTICO PARA ASEGURAR QUE LOS PROYECTOS CAC SE DESARROLLEN A UN COSTE RAZONABLE, ASPECTO ÉSTE QUE, DESDE EL AÑO 2008, NO HA AVANZADO A NIVEL MUNDIAL DE UN MODO DESEABLE.
2. LA ARMONIZACIÓN Y EL DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL CO2 Y LA CAPACIDAD DE LOS ALMACENAMIENTOS SUBTERRANEOS ASOCIADOS A PROYECTOS CAC, FORMA PARTE DEL CAMINO CRÍTICO PARA EL DESARROLLO DE ESTOS PROYECTOS A FUTURO.

3. ADICIONALMENTE DENTRO DEL PAQUETE DE MEDIDAS PARA REDUCCIÓN DE EMISIONES GEI, SE DESTACAN COMO MEDIDAS MÁS IMPORTANTES Y QUE MÁS CONTRIBUIRAN A ABATIR EL TOTAL DE EMISIONES DE CO2 MUNDIALES, LA EFICIENCIA ENERGÉTICA (36%) SEGUIDO DE LOS PROYECTOS DE CAC CON UN 20%, EN EL ESCENARIO BLUEMAP AL 2050 (ver gráfico).

GHG Emissions Reductions: Solutions for 2050



EL FUTURO DESARROLLO DE PROYECTOS CAC Y POR EXTENSIÓN LOS PROYECTOS DE TRANSPORTE ASOCIADOS, ESTAN SUJETOS A DÍA DE HOY, A UNA SERIE DE INCERTIDUMBRES DE CARÁCTER SOCIO-ECONÓMICO QUE ES NECESARIO IMPULSAR:

1. **Consenso político para su desarrollo.**
2. **Aceptación social, frente a otras opciones menos realistas.**
3. **Financiación y largos periodos de amortización.**
4. **Apoyo legislativo (permisos técnicos, licencias, regulación y normativa para el sector y el acceso de terceros a red...,etc).**

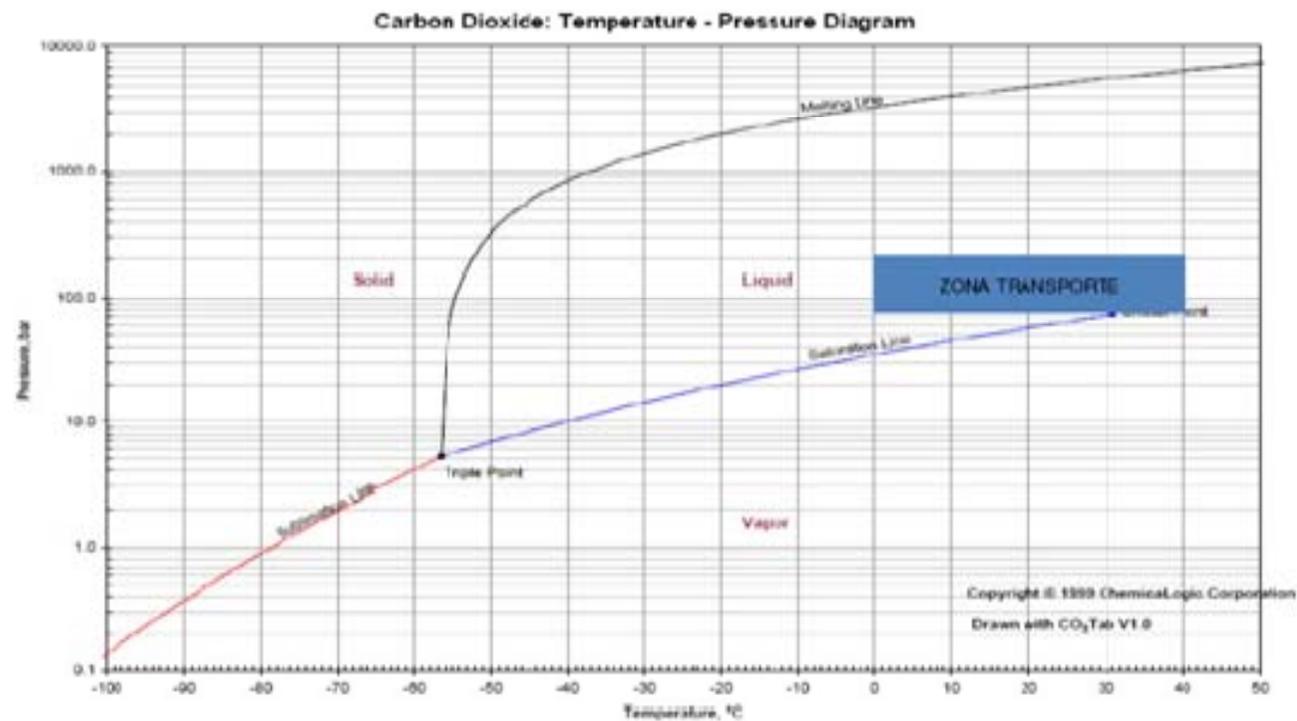


ESTO SUPONDRÁ, EN CONJUNTO, ACORTAR LA TRAMITACIÓN Y EL DESARROLLO DE PROYECTOS CAC.

CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DEL FLUIDO, CO2 (100%):

1. EL DIOXIDO DE CARBONO ES UN COMPUESTO FORMADO POR DOS ÁTOMOS DE OXÍGENO Y UNO DE CARBONO (CO₂), QUE EN CONDICIONES NORMALES (1atm y 273,15 K) SE ENCUENTRA EN FASE GAS.
2. ES UN FLUIDO INCOLORO E INODORO QUE PRESENTA GRAN MISCIBILIDAD EN EL AGUA, SIENDO SU DENSIDAD Y VISCOSIDAD VARIABLE EN FUNCIÓN DE LAS CONDICIONES DE PRESIÓN Y TEMPERATURA.
3. SE ENCUENTRA PRESENTE EN EL AIRE QUE RESPIRAMOS EN UNA PROPORCIÓN EN EL ENTORNO AL 0,035%, SIENDO EL GAS QUE MÁS CONTRIBUYE AL EFECTO INVERNADERO, CUANDO ESA PROPORCIÓN SE ROMPE, COMO CONSECUENCIA DE LAS EMISIONES DE ORIGEN ANTROPOGÉNICO (CO₂_{an}).
4. MIENTRAS QUE HIDROCARBUROS COMO EL GAS NATURAL Y DERIVADOS DEL PETRÓLEO SON **RECURSOS VALORIZABLES**, EL CO₂_{an} ES UN **RESIDUO** QUE ES NECESARIO GESTIONAR, DE UN MODO EFICIENTE.

DIAGRAMA DE FASES DEL CO2 (100%)



Título de la ponencia: TRANSPORTE DE CO2 POR TUBERÍA

02

Tabla de propiedades comparativa:

	CO2 (100%)	GAS NATURAL
ESTADO FISICO A 20°C y 100 bar:	Líquido (Fluido denso/Supercrítico)	Gas
ESTADO FISICO A -165°C 1,013 bar:	Sólido	Líquido
MASA MOLECULAR (g/mol)	44	16
TEMP. PUNTO TRIPLE (°C)	-56,6 (ebullición) (*)	-182,5 (fusión) (*)
PRESION PUNTO TRIPLE (bar)	5,18	0,117
TEMP. CRÍTICA (°C)	30	≈ -85
PRESIÓN CRÍTICA (bar)	73,84	≈ 60
DENSIDAD RELATIVA DEL GAS (AIRE=1)	1,52	0,55
COEFICIENTE JOULE THOMPSON (20°C y 100 bar)	0,45 (estado líquido SC)	≈ 0,07 (estado gas)
INFLAMABILIDAD (%VOL. EN AIRE)	No inflamable	Inflamable (LII-LSI entre 5-y15%)
SOLUBILIDAD EN AGUA A 15°C (mg/l)	2000	0,054
COLOR	Incoloro	Incoloro
OLOR	Inodoro	Inodoro

10º Congreso Nacional del Medio Ambiente

PERO..., ESTAMOS HABLANDO SIEMPRE DE LO MISMO...,



??, VEAMOS:

¿QUÉ ES EL CO2 DE ORIGEN ANTROPOGÉNICO, CO_{2an}?

“ FLUIDO DE COMPOSICIÓN VARIABLE (≥80% CO2) QUE SE OBTIENE COMO UN RESIDUO PROCEDENTE DE PROCESOS DE COMBUSTIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES”

EJEMPLO DE COMPOSICIÓN: TABLA DEL PROYECTO EUROPEO DYNAMIS:

Compuesto	Concentración
H2O	500 ppm
H2S	200 ppm
CO	2000 ppm
O2	< 4 vol%, EOR: 100-1000 ppm
CH4	< 4 vol%, EOR<2 vol%
N2	< 4 vol%
Ar	< 4 vol%
H2	< 4 vol%
SOx	100 ppm
NOx	100 ppm
CO2	>95.5 %

COMO PODEMOS DEDUCIR, EL CO_{2an} AUNQUE EN SU MAYOR PROPORCIÓN ES UN FLUIDO CON UNA ALTA CONCENTRACIÓN DE CO₂, PUEDE LLEVAR INCORPORADO OTROS COMPUESTOS QUE DEPENDIENDO DE SU PROPORCIÓN, PUEDEN APORTARLE A DICHO FLUIDO UNAS CARACTERÍSTICAS FISICO-QUÍMICAS DIFERENTES A LAS QUE TENDRÍA CON UN 100% DE PUREZA DE CO₂.

LA PRESENCIA Y TIPO DE DICHAS IMPUREZAS EN LA CORRIENTE DE CO_{2an} DEPENDE FUNDAMENTALMENTE DE:

1. LA FUENTE O SECTOR DE PROCEDENCIA DEL CO_{2an} : GRANDES PLANTAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA, INCINERADORAS, PETROQUÍMICA...ETC.,
2. SISTEMA DE CAPTURA UTILIZADO PARA ATRAPARLO: PRE-COMBUSTIÓN, POST-COMBUSTIÓN Y OXICOMBUSTION.
3. DEL GRADO DE LIMPIEZA QUE SE LE QUIERA DAR AL FLUIDO, UNA VEZ CAPTURADO, PARA ACONDICIONARLO PARA EL TRANSPORTE.

Como ya hemos visto, las impurezas más habituales en la corriente de humos procedentes de la combustión suelen ser: H₂O, H₂, N₂, Ar, NO_x, CH₄, H₂S, SO₂...etc.

¿QUÉ SUPONE LA PRESENCIA DE ESAS IMPUREZAS EN LA CORRIENTE DE CO₂?

	Temperatura Crítica (°C)	Presión Crítica (bar)
CO ₂ puro	30.97	73.76
CO ₂ +2% H ₂	30.37	79.05
CO ₂ +5% H ₂	29.34	87.56
CO ₂ +2% Ar	29.73	75.71
CO ₂ +5% Ar	27.77	78.67

Table III—Efecto de las impurezas en la temperatura y presión críticas.

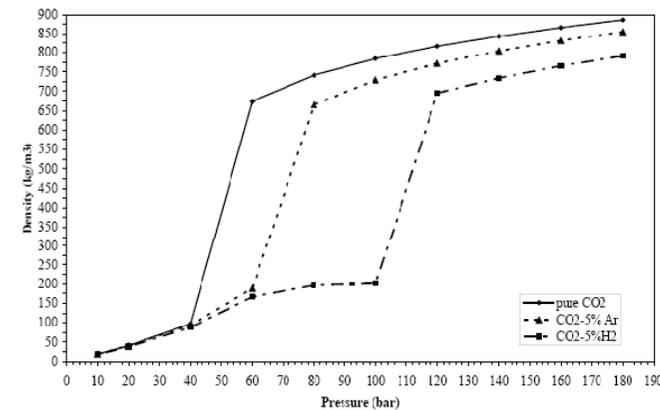
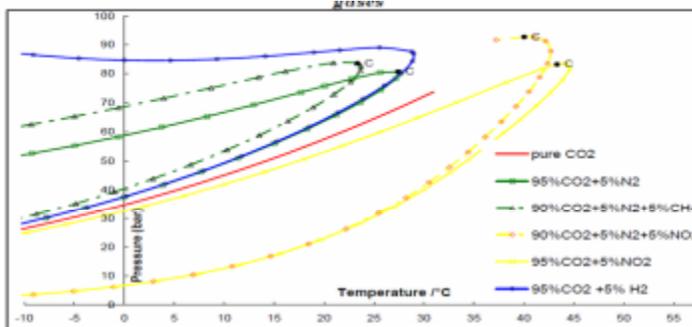


Figure 3 – Variation of density with pressure for pure CO₂, 5% H₂-CO₂ and 5% Ar-CO₂ at 20°C⁴

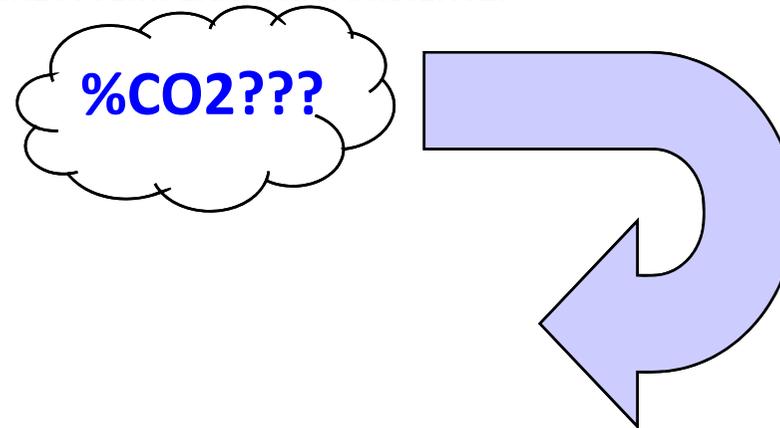
ADEMAS DE VARIAR LAS CONDICIONES TERMODINÁMICAS E HIDRÁULICAS DEL FLUIDO, EN FUNCIÓN DE LA MAYOR O MENOR PROPORCIÓN DE CADA UNA DE ELLAS, SUPONEN LAS SIGUIENTES IMPLICACIONES ADICIONALES:

1. LA ELEVACIÓN DEL PUNTO CRÍTICO, IMPLICA MAYORES PRESIONES DE DISEÑO, Y POR TANTO COEFICIENTES DE DISEÑO MÁS EXIGENTES → MAYORES ESPESORES DE TUBERÍA PARA UN DETERMINADO LÍMITE ELÁSTICO.
2. MAYOR DIFICULTAD DE SOLDABILIDAD DE LAS TUBERÍAS Y DE ENSAYOS D/ND.
3. MAYOR EXIGENCIA EN LAS PRUEBAS REGLAMENTARIAS.
4. AUMENTO DE LA POSIBILIDAD DE FENÓMENOS DE CORROSIÓN EN LA TUBERÍA POR LA PRESENCIA DE ÁCIDOS PROCEDENTES DEL AZUFRE Y DE LA PRESENCIA DE OXÍGENO EN EXCESO EN LA CORRIENTE: HCC (HYDROGEN COROSION CRACKING), SCC (SULPHRIDRE COROSION CRACKING), SCC (STRESS COROSION CRACKING).
5. EXIGENCIA DE MAYOR TENACIDAD DE LOS ACEROS, QUE SE VE CONDICIONADA, A SU VEZ, POR EL ALTO COEFICIENTE DE JOULE-THOMPSON Y SUS EFECTOS ASOCIADOS AL CO2 EN PROCESOS DE DESCOMPRESIÓN.

¿Y QUÉ PASA CON LA SEGURIDAD DEL PRODUCTO?

DE ACUERDO A LA CARACTERIZACIÓN DE FLUIDOS RECOGIDA EN LA NORMA ISO 13.623, EL CO2 SE CONSIDERA UN FLUIDO "TIPO C" NO INFLAMABLE PERO TÓXICO EN FUNCIÓN DE LA PROPORCIÓN EN EL AIRE A TEMPERATURA AMBIENTE.

¿QUÉ SIGNIFICA ESTO?

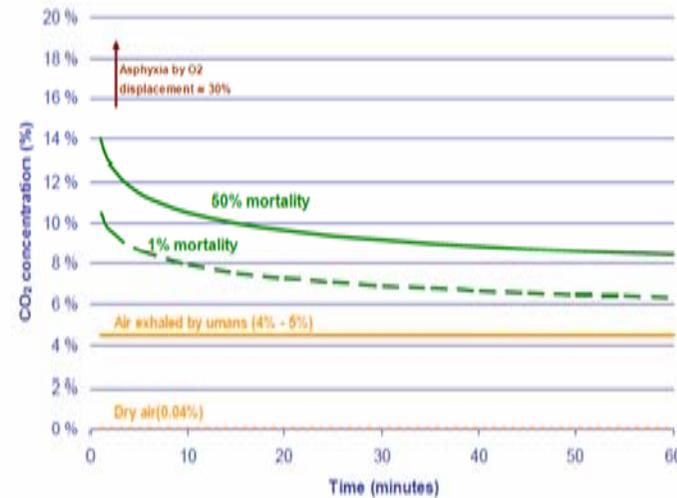


AL SER MÁS DENSO QUE EL AIRE TIENDE A ACUMULARSE EN LOS PUNTOS BAJOS EN FORMA DE NUBE FRIA Y DENSA, ELIMINANDO LA PRESENCIA DE OXÍGENO.

A CONTINUACIÓN SE EXPONEN LOS INDICES LAS TABLAS DE EXPOSICIÓN AL PRODUCTO Y SU GRADO DE PELIGROSIDAD:

CO2 Concentración en el aire (% V/V)	EXPOSICION	EFFECTOS EN SERES HUMANOS
2	Varias horas	Dolor de cabeza dificultad para respirar cuando hace algún esfuerzo leve
3	1 hora	Dolor de cabeza leve, sudoración y dificultad para respirar en reposo
4 – 5	En unos pocos minutos	Dolor de cabeza, mareos, aumento de la presión arterial, la respiración incómoda
6	1 – 2 minutos ? 16 minutos Varias horas	Molestias auditivas y visuales Dolor de cabeza, dificultad para respirar (disnea) Temblores
7 – 10	Unos pocos minutos Entre 1,5 minutos y 1 hora	Perdida de conciencia Dolor de cabeza, Incremento pulsaciones , respiración entrecortada, mareos, sudoración, respiración rápida
>10 – 15	Entre 1 minuto y varios minutos	mareos, contracciones musculares severas, pérdida del conocimiento
17 – 30	En 1 minuto	Pérdida de la actividad controlada, inconsciencia, convulsiones, coma, muerte

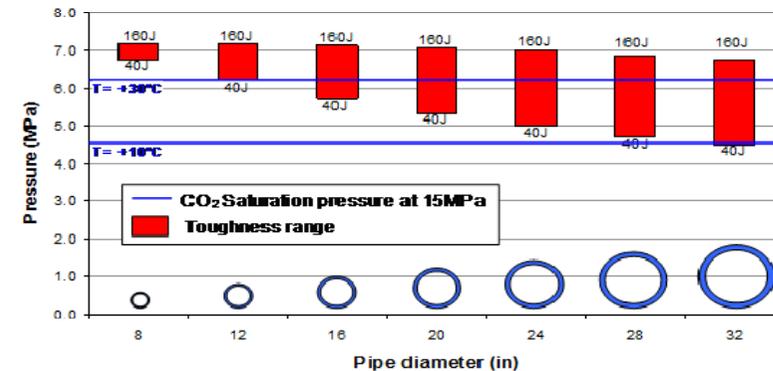
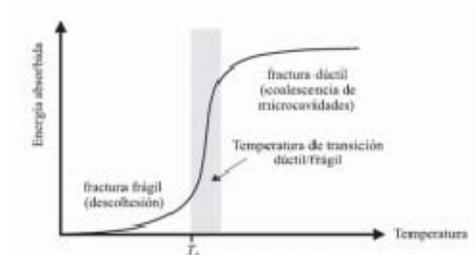
Efectos sobre la salud de concentraciones elevadas de CO2



ESTO INFLUIRÁ DECISIVAMENTE A LA HORA DE DEFINIR LOS TRAZADOS DE LAS TUBERÍAS DE TRANSPORTE Y SU DISTANCIA A NÚCLEOS DE POBLACIÓN.

¿CUÁLES SON LOS RETOS DE FUTURO?

- CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LOS ACEROS APTOS PARA EL TRANSPORTE DE CO₂_{an}, SOBRE TODO EN LO RELATIVO A LA TENACIDAD ANTE LA FRACTURA.



- MODELOS VALIDADOS DE DESCOMPRESIÓN DE TUBERÍAS DE TRANSPORTE DE CO₂_{an} Y SU INTERACCIÓN EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS.

- **MODELOS PARA CARACTERIZACIÓN DE LA VELOCIDAD Y PROCESOS DE CORROSIÓN, EN LOS ACEROS COMERCIALES, EN FUNCIÓN DE LA PRESENCIA DE IMPUREZAS EN LA CORRIENTE.**
- **MODELOS VALIDADOS DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA, ESTÁTICA Y DINÁMICA, PARA BIFASES Y MEZCLAS DE DIFERENTES COMPONENTES.**
- **POSIBLES EFECTOS HIDRÁULICOS NO ESTUDIADOS EN ESTE FLUIDO, COMO SON EL GOLPE DE ARIETE Y EFECTOS DE LA ALTITUD DE LAS TUBERÍAS DE TRANSPORTE.**
- **CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES NO METÁLICOS APTOS PARA EL USO EN EQUIPAMIENTO PARA EL TRANSPORTE: PLÁSTICOS, ELASTÓMEROS Y POLÍMEROS PARA FABRICACIÓN DE JUNTAS, UNIONES....,ETC.**

POR ÚLTIMO TENDREMOS QUE RECONECER QUE SIN LOS PROYECTOS CAC, JUNTO A OTRAS MEDIDAS DE RACIONALIZACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE LA INTENSIDAD ENERGÉTICA, UNIDO AL USO DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS, NO PODREMOS GARANTIZAR UN FUTURO SOSTENIBLE PARA EL PLANETA.



Muchas gracias por su atención!

