

**Jornades sobre Desenvolupament Sostenible**

**La valorització al sector del ciment**

**Fundació CEMA**

**VALORITZACIÓ DE FANGS SECS D'EDAR A**

**FORNS DE FABRICACIÓ DE CLÍNQUER**

**Experiència prèvia, i aplicació a Catalunya**

**Alejandro Josa**

**UPC-CC**

# Objectiu



## Resumir:

- L'experiència existent amb fangs secs d'EDAR com a combustible alternatiu a forns de fabricació de clínquer.
- El contingut del Conveni entre la Generalitat, els ajuntaments implicats, els sindicats majoritaris i el sector del ciment a Catalunya per a la realització de proves ambientals prèvies.
- Els resultats de les proves ambientals prèvies portades a terme el 2005.
- La situació actual d'utilització continuada.

# Prèviament

## Referència breu sobre:

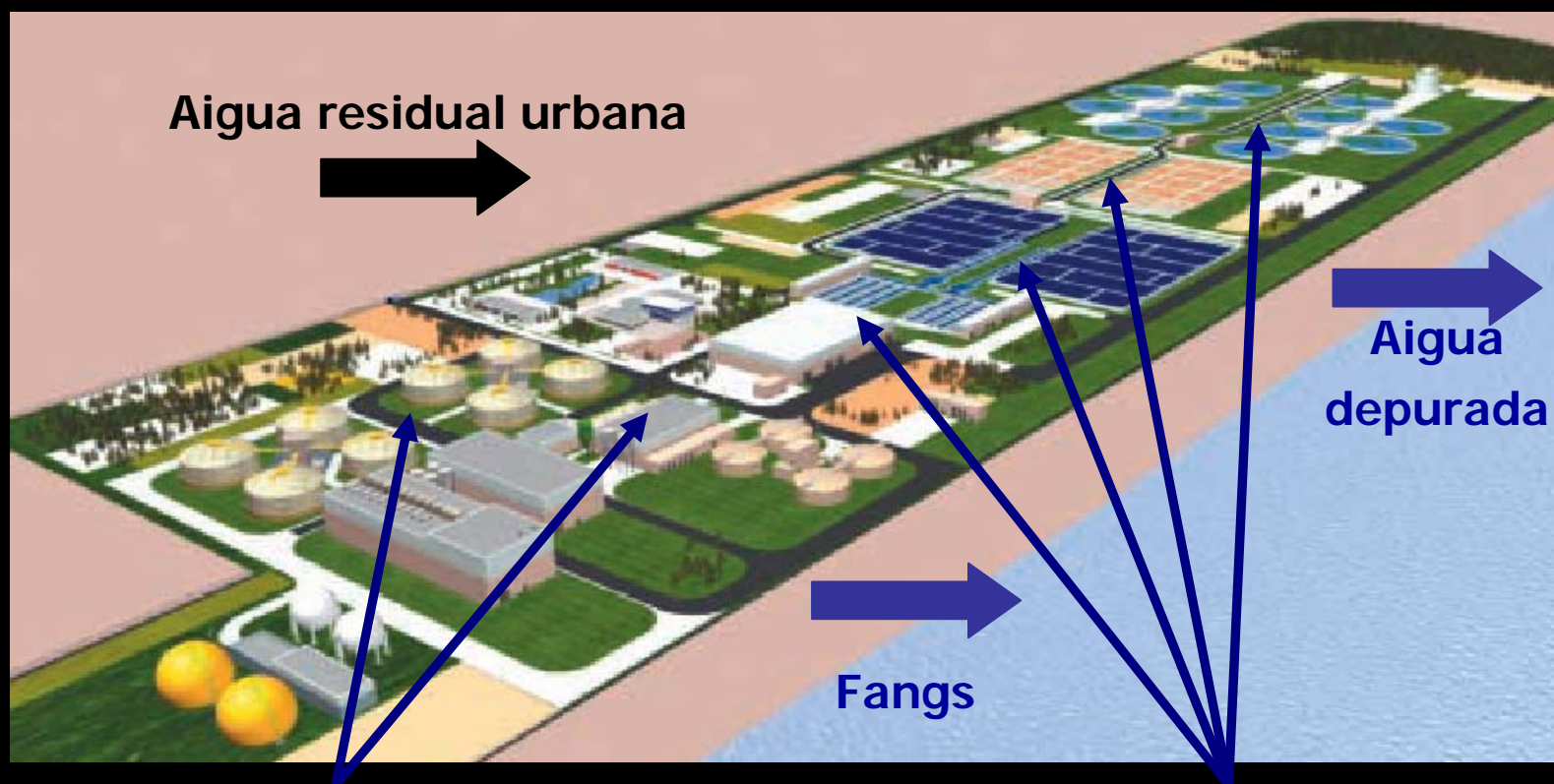
- Què són els fangs de depuradora.
- (Algunes característiques de la fabricació de clínquer).



# Els fangs de depuradora resulten de la depuració d'aigües residuals, en aquest cas urbanes

**Entrada a la depuradora:** aigua residual

**Sortida de la depuradora:** per una part l'aigua depurada i per l'altra els fangs de depuradora, que concentren la matèria sòlida, com sortides més importants



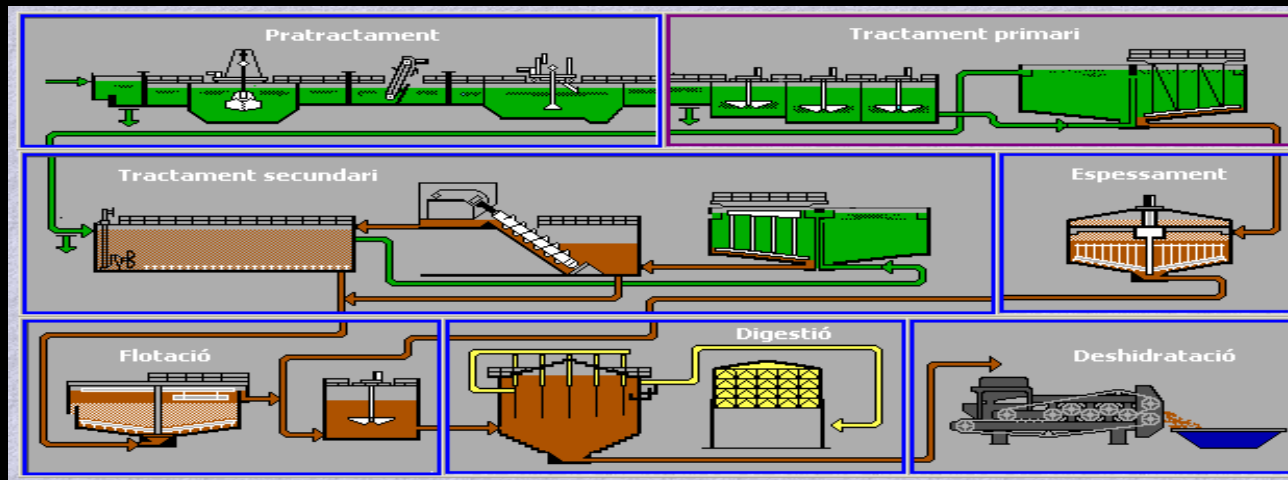
**Tractament dels fangs (segons el cas):** digestors, assecat, ...

**Tractaments de l'aigua residual (segons el cas):** primari, secundari, terciari, ...

# Exemples de tractament de les aigües residuals i fangs

**Predebast** (reixes per sòlids grans). **Pretractament** (garbells per a partícules mitjanes/petites i desarenadors/desgreixadors). **Decantadors primaris** (dipòsits per a sedimentació de partícules en suspensió). **Reactors biològics** (reducció biològica de matèria orgànica en suspensió/dissolta). **Decantadors secundaris** (sedimentació després de la reducció biològica). **Tractament terciari/avançat** (eliminació de contaminants específics)

Tractament de les aigües residuals



Tractament dels fangs

**Espressament** (concentració dels flocs provinents dels decantadors). **Digestió** (estabilització biològica amb producció de gas). **Deshidratació** (eliminació mecànica d'aigua fins obtenir una consistència plàstica). **Assecat tèrmic** (eliminació tèrmica d'aigua fins obtenir una consistència sòlida - granular).

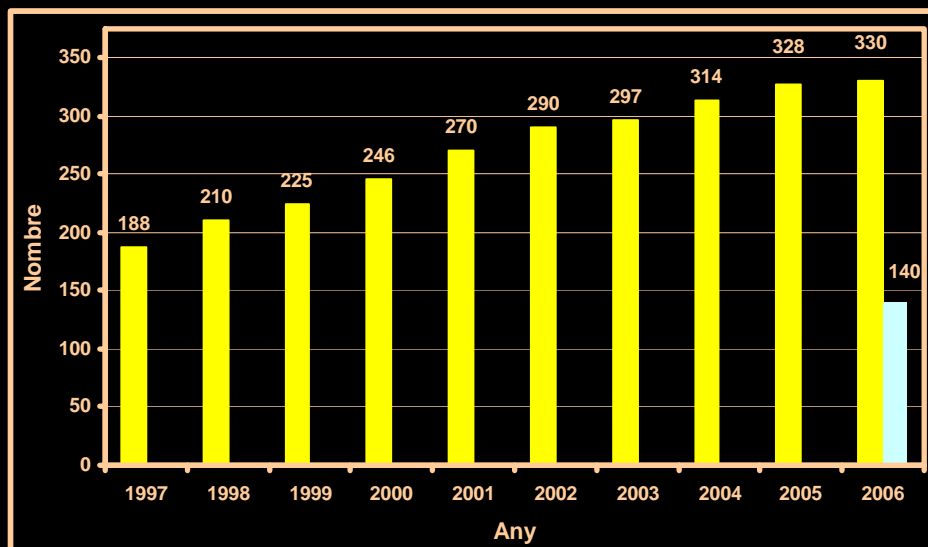
Els fangs sense cap tractament (matèria fresca) tenen una humitat molt alta (>90%). Aquesta humitat pot ser reduïda fins el 60-75% (fangs deshidratats) o fins el 10-15% (mitjançant assecatge tèrmic per reduir i facilitar el transport).

# Aigua residual urbana depurada i fangs a Catalunya

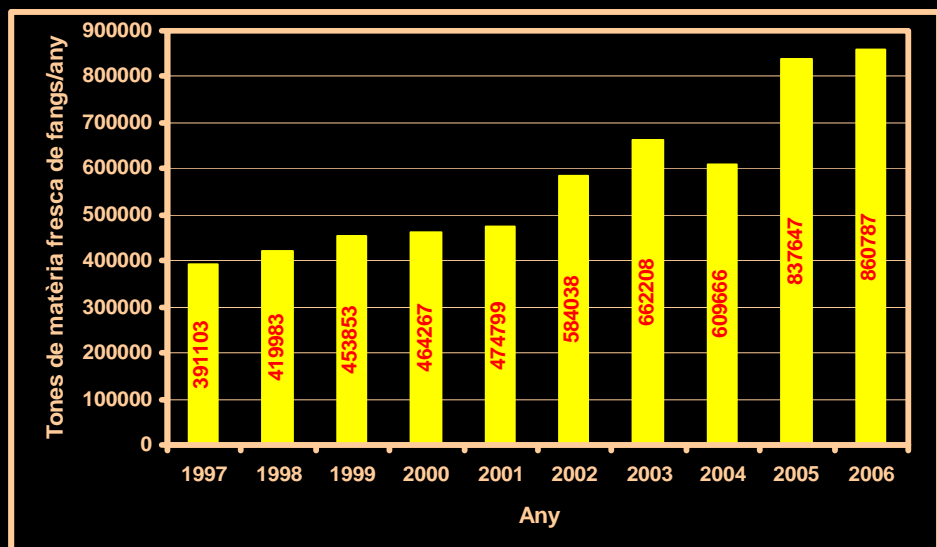
Construcció de noves plantes depuradores (2006: 330+140): creixement important dels llots resultants.

Significatiu augment d'aigües residuals urbanes generades (nuclis de la població i turisme).

Es tracten prop de 2.000.000 de m<sup>3</sup>/dia d'aigües residuals i es produeixen més de 700.000 tones/any de matèria fresca de fangs.



Nombre de depuradores a Catalunya (i en construcció a 2006)



Tones de matèria fresca de llots produïts a Catalunya

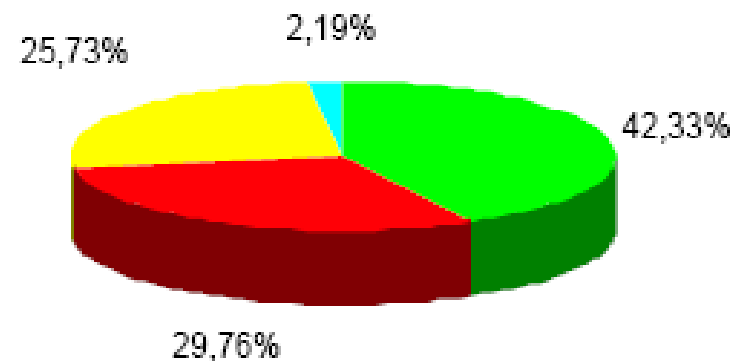
Els fangs d'EDAR urbanes són materials no perillosos que poden fer-se servir en diverses aplicacions (agricultura i jardineria o també com a combustible alternatiu a forns de fabricació de clínquer pel seu contingut energètic).

Malgrat els seus avantatges ambientals (Kyoto, emissions, estalvi de recursos) i l'experiència existent a altres països desenvolupats del nostre entorn, fins ara no s'havia aplicat a Catalunya.



DISTRIBUCIÓ DESTINACIONS PRINCIPALS

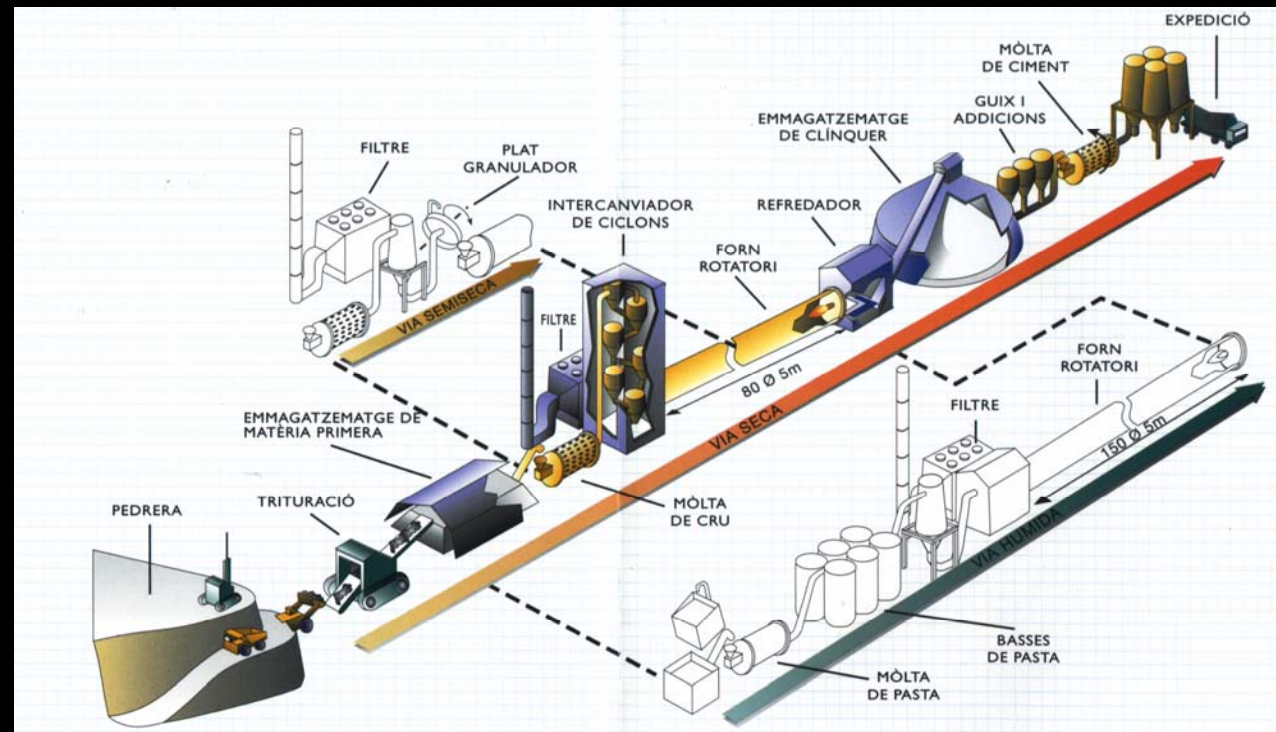
- Agricultura i Jardineria
- Restauracions
- Abocadors
- Compostatges Externs
- Altres Destinacions\*



# Els forns de fabricació de clínquer



Fàbrica de ciment



Clínquer

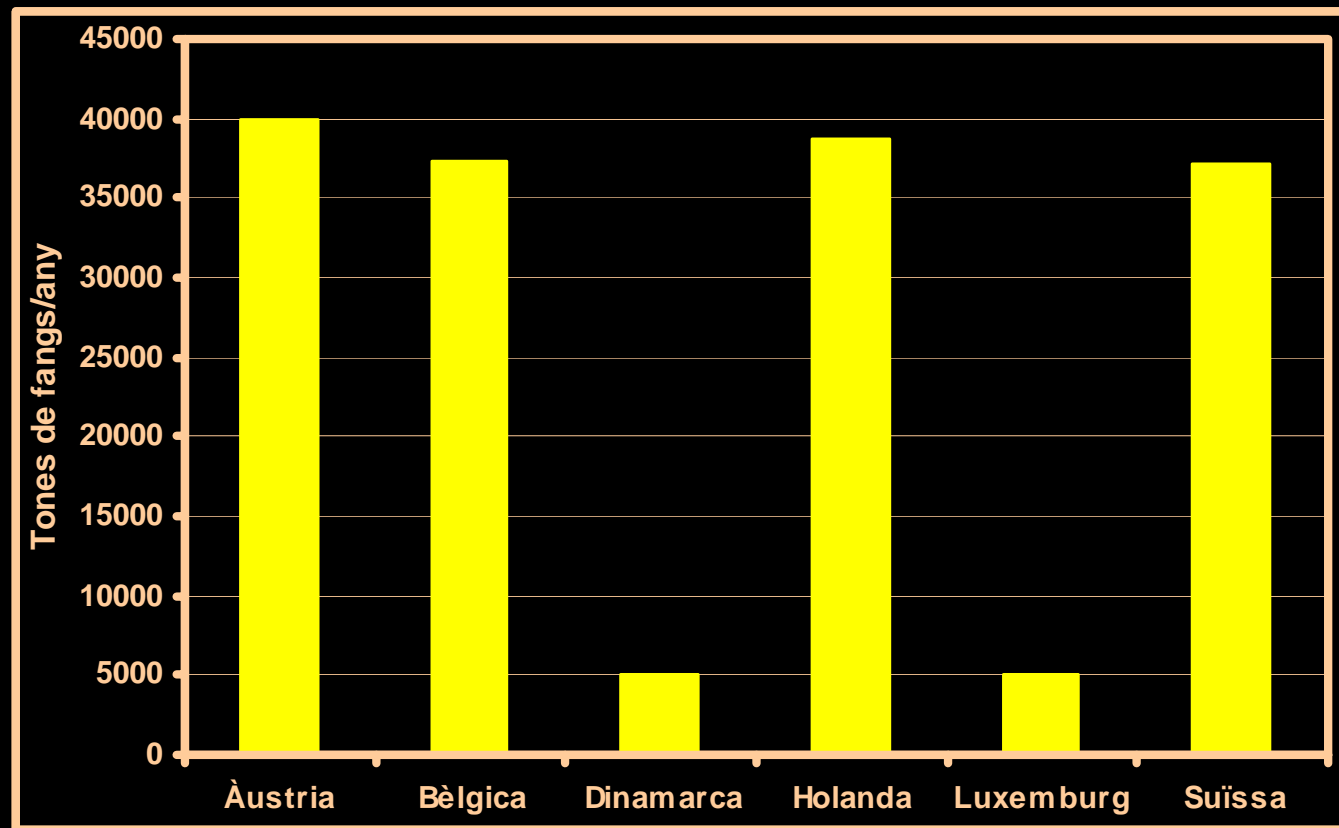
Idonis per a la utilització de combustibles alternatius de forma segura per al medi ambient i la salut

- Temperatura (>2000°C en flama).
- Temps de residència (>2 s a >850°C).
- Sense residus sòlids ni líquids



## Experiència amb l'ús de fangs secs d'EDAR urbanes com combustibles alternatius a forns de fabricació de clínquer

Opció mediambientalment òptima i segura a diversos països desenvolupats del nostre entorn (Àustria, Bèlgica, Dinamarca, Luxemburg, Suïssa) avalada per resultats en casos reals.



També experiència a Espanya (València).

Com a exemple es pot donar el cas d'Holanda, que és molt semblant al de vàries fàbriques catalanes.



## **Estudis previs sobre el comportament ambiental dels fangs secs a forns de fabricació de clínquer**

**Existeixen estudis anteriors a les experiències a Catalunya sobre el comportament ambiental dels fangs secs a forns de fabricació de clínquer.**

**Aquests estudis demostren que aquest ús és segur des del punt de vista de la salut i favorable des del punt de vista mediambiental.**

**La comunitat científica avala aquest ús i els països desenvolupats del nostre entorn la fomenten.**



## Estudis previs sobre el comportament ambiental dels fangs secs a forns de fabricació de clínquer

Com exemple proper es pot fer referència a un estudi a una planta de fabricació de ciment de València fent servir fangs secs de Catalunya.

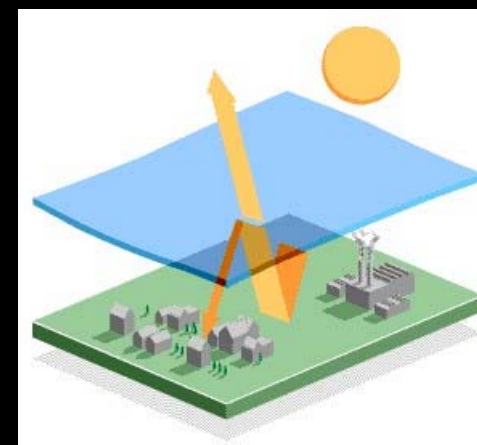
Els estudis es van fer a la Universitat d'Alacant.

Els resultants amb totes les emissions van ser favorables.

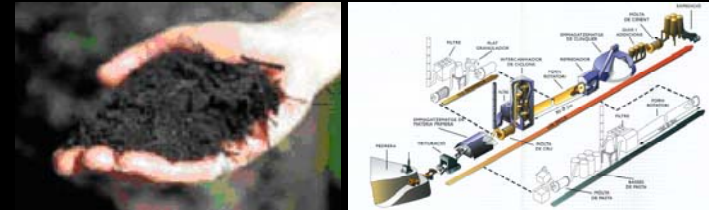


## Avantatges de la utilització de fangs secs d'EDAR en la fabricació de clínquer

- Estalvia l'ús de recursos no renovables (combustibles convencionals com carbó, coc de petroli, fuel).
- Al ser biomassa redueix l'emissió neta de gases de efecte hivernacle (els provinents dels combustibles convencionals estalviats ja que els residus acaben sempre descomponent-se i produint aquest tipus de gasos). Per cada tona de llots s'estalvien de l'ordre de 1,42 tones de CO<sub>2</sub>
- Ajuda a complir el Protocol de Kioto.
- Permet reduir altres emissions (NO<sub>x</sub>).



Complementàriament l'ús de fangs de depuradora a forns de fabricació de clínquer és una operació de valorització energètica considerada a:



- Directives de residus europees.
- El Pla Nacional de Fangs de Depuradores d'Aigües Residuals 2001-2006, **aprovat per Acord del Consell de Ministres, que estableix la valorització energètica com un dels principals usos possibles dels fangs de depuradora.**
- El Pla de l'Energia de Catalunya 2006-2015, **que proposa la valorització energètica dels fangs procedents d'EDAR mitjançant la seva combustió a indústries cimenteres amb una quantitat total de 52 Ktep.**



## Resum de situació



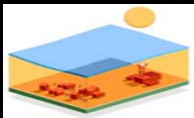
Generació de quantitats importants de fangs d'EDAR (suficient per a compostatge i per a altres aplicacions mediambientalment adients).

Els fangs d'EDAR tenen contingut energètic (1/2 a 1/3 d'un combustible convencional; el seu ús estalvia combustibles convencionals).

Els fangs d'EDAR són biomassa (CO<sub>2</sub> neutre des del punt de vista del Protocol de Kyoto ja que el que emet l'ha absorbit prèviament).

L'ús de fangs secs d'EDAR com a combustible alternatiu és una aplicació ambientalment avantatjosa (reducció de CO<sub>2</sub> emès; estalvi de recursos naturals; disminució d'emissions).

L'ús de fangs secs d'EDAR com a combustible alternatiu és una aplicació segura des del punt de vista ambiental i de la salut (experiència externa i pròpia).



## Proves mediambientals prèvies



Malgrat l'experiència prèvia existent es van dur a terme proves addicionals a escala real a dues fàbriques de Catalunya per analitzar el seu comportament mediambiental.

Las proves van incloure la realització d'anàlisis amb distints percentatges de substitució del combustible convencional (coc de petroli) per fangs secs.

Les anàlisis es van fer i seguir a centres d'investigació independents i de reconegut prestigi com el Centre Superior d'Investigacions Científiques o la Universitat de Barcelona.



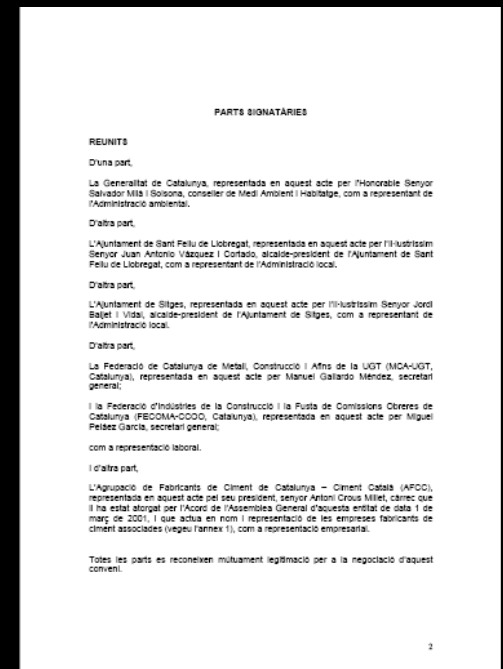


Les proves van ser consensuades per la Generalitat, el sector del ciment a Catalunya i els sindicats majoritaris (UGT i CCOO).

Es va signar un Conveni de col·laboració entre les següents entitats:

- **Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat**
- **Ajuntament de Sant Feliu de Llobregat (localització de fàbrica)**
- **Ajuntament de Sitges (localització de fàbrica)**
- **Organització sindical UGT**
- **Organització sindical CCOO**
- **Ciment Català**

per a la realització de les proves



# D'acord amb el conveni es va constituir una Comissió de seguiment constituïda per:

- 2 representants de la DGQA del DMAiH
- 1 representant de l'ARC
- 1 representant de l'ACA
- 1 representant de l'ICAEN
- 1 representant de l'EMSHiTR
- 1 representant de cada ajuntament signant del conveni
- 3 representants de MCA-UGT, Catalunya
- 3 representants de FECOMA-CCOO, Catalunya
- 1 representant de l'Institut del Cement - IECA
- 5 representants de les empreses cimiteres da Catalunya i Cement Català
- 1 representant de l'Associació de Municipis
- 1 representant de la Federació de Municipis
- 1 representant de CONFVC
- 1 representant dels grups ecologistes

Aquesta Comissió va fer un seguiment de totes les proves i dels seus resultats.

Medi Ambient i Agrupació de Fabricants de Cement de Catalunya, i signat 7<sup>è</sup> de març de 2002. Per a aquells contractants no recollits al conveni esmentat, s'aplicaran els criteris establerts al RD 663/2002, de 30 de maig, sobre incineració de residus, concretament els que s'apliquen a la valorització energètica en forns de fontencat de cinquè.

A partir de l'entrada en vigor del Reial decret 663/2002, aquest serà la normativa de referència.

**Quarta. COMISSIÓ DE SEGUIMENT**

En un període màxim d'un mes des de la signatura d'aquest conveni, es crearà una Comissió Tècnica de les parts signants per al seguiment del conveni, constituïda, com a màxim, per sis representants designats per cadascuna de les parts signants del conveni, segons s'indica a continuació:

**Presidents:** la directora general de Qualitat Ambiental de la Generalitat de Catalunya o la persona en qui delegui  
**Secretari:** un representant de Cement Català

**Vocals:**

1 representant de la Direcció General de Qualitat Ambiental  
1 representant de l'Agència de Residus de Catalunya  
1 representant de l'Agència Catalana de l'Aigua  
1 representant de l'Institut Català d'Energia  
1 representant de l'Entitat Metropolitana de Serveis Hidràulics i del Tractament de Residus  
1 representant de cada ajuntament del municipi on s'ubiqui la instal·lació  
3 representants de MCA-UGT, Catalunya  
3 representants de FECOMA-CCOO, Catalunya  
1 representant de l'Institut del Cement - IECA  
1 representant de l'empresa Leliland Cementera, SA  
1 representant de l'empresa Cementos Molins Industrial, SA  
1 representant de l'empresa Cement Espanya, SA  
1 representant de l'Associació de Municipis  
1 representant de la Federació de Municipis  
1 representant de CONFVC  
1 representant dels grups ecologistes

Quan s'estiguin desenvolupant, desenvolupant o analitzant els resultats de les proves previstes en aquest conveni, la Comissió de seguiment es reunirà, com a mínim, un cop al trimestre. La Comissió també es reunirà sempre que una de les tres parts signants ho sol·liciti.

La Comissió de seguiment tindrà les funcions següents:

a) Per el seguiment de les proves accions, concretament pel que fa a la seva planificació, desenvolupament i resultats.

5

# El programa d'investigació ambiental incloïa:

- La caracterització dels fangs
- La caracterització dels crus utilitzats en els forns
- Les emissions a l'atmosfera

## Caracterització dels fangs:

- Caràcters organolèptics (aspecte, color, olor),.
- Punt d'inflamació.
- Pèrdua a 105 °C.
- Pèrdua a 500 °C.
- Poder calorífic inferior.
- Clor total.
- Sofre total
- Cd, Tl, Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V i Sn.

### 7. PROGRAMA D'INVESTIGACIÓ MEDIAMBIENTAL A REALITZAR

L'objectiu de les mesures és, d'una banda, avaluar la incidència ambiental associada al projecte, i, d'altra banda, conèixer amb major profunditat la dinàmica del procés. En aquest context, es realitzarà un balanç de matèria que incidirà la presència de contaminants a les diferents matèries implicades.

#### 7.1 Caracterització dels llots

Es realitzaran tres caracteritzacions completes de llots per a cada un dels seus possibles orígens. Les anàlisis es duran a terme, una, a l'inici de les proves, i dues, durant el seu desenvolupament, i seran efectuades per un laboratori acreditat per l'Agència Catalana de Residus.

A les anàlisis dels llots, es determinaran:

- Caràcters organolèptics (aspecte, color, olor...)
- Punt d'inflamació
- Pèrdua a 105° C
- Pèrdua a 500° C
- Poder calorífic inferior
- Clor total
- Sofre total
- Cd, Tl, Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V i Sn
- Fluor, iode.

#### 7.2 Caracterització dels crus utilitzats en el forn

Durant les proves, s'anализaran els components dels crus usats com a matèria primera en el forn:

- Contingut en S
- Anàlisi química
- Cd, Tl, Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V i Sn.

Aquesta anàlisi es realitzarà com mínim dues vegades durant l'estudi.

#### 7.3 Emissions a l'atmosfera

L'establiment haurà d'informar la Direcció General de Qualitat Ambiental, amb una antelació mínima de 15 dies, dels dies que té previst efectuar els mesuraments dels gasos emesos pel forn.

Cada mesurament portarà associat un registre on es farà constar les condicions de funcionament de l'activitat en el moment de dur-lo a terme. Aquestes condicions s'hauran de mantenir en totes les proves a fi de garantir que els resultats siguin comparables.

Els mètodes de referència per avaluar les concentracions dels diferents

## Emissions:

- **Partícules totals (anàlisi en continu).**
- **SO<sub>2</sub> (anàlisi en continu).**
- **NO<sub>x</sub> (anàlisi en continu).**
- **CO (anàlisi en continu).**
- **COT**
- **HCl**
- **HF**
- **Cd, Tl, Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn i Zn**
- **Dioxines i furans policlorats**

**Resultats detallats en un document públic de la Generalitat.**

contaminants són els establerts al Reial decret 653/2003.

Prèviament a l'ús de llots com a combustible alternatiu, es duran a terme en les condicions normals de funcionament del form mesuraments dels contaminants següents a cada form on s'efectuïn les proves:

Partícules totals  
Oxíde de sofre  
Oxíde de nitrogen  
Compostos orgànics totals  
Àcid clorhídric  
Àcid fluorhídric  
Metalls  
Dioxines i furans.

Un cop comenci la utilització de llots secs de depuradora com a combustible secundari, s'iniciarà el corresponent estudi d'emissions a l'atmosfera, d'acord amb els criteris indicats a continuació. Els elements a mesurar i la periodicitat seran els següents:

- Partícules totals (anàlisi en continu)
- SO<sub>2</sub> (anàlisi en continu)
- NO<sub>x</sub> (anàlisi en continu)
- CO (anàlisi en continu).

Perquè aquestes dades tinguin validesa, els analitzadors hauran d'estar calibrats d'acord amb les directrius del Departament de Medi Ambient i Habitatge.

Cada dos mesos s'efectuaran mesuraments dels components següents:

- COT
- HCl
- HF
- Cd, Tl, Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn i Zn
- Dioxines i furans policlorats.

### 8. PLA DE TREBALL

Es duran a terme proves d'utilització de llots secs com a combustible secundari en form de fàbriques de ciment catalanes, en diferents graus de substitució.

Es començarà amb una substitució energètica del 5%, i s'incrementarà aquest percentatge cada mes un 5%, fins a arribar a un percentatge de substitució del 25%.

Segons aquestes xifres, es pot preveure un consum de llots durant la prova de 6.000 t aproximadament per form.

## Conclusions de les proves ambientals prèvies

- Les emissions de contaminants a l'atmosfera són independents de l'ús exclusiu de coc de petroli o la substitució parcial d'aquest combustible per llots secs de depuradora urbana.
- L'informe del Departament de Salut conclou que la incidència sobre la salut és independent de la utilització de llots secs de depuradores urbanes com a combustibles.
- Es redueixen les emissions de gasos d'efecte hivernacle ja que el factor d'emissió de CO<sub>2</sub> per la utilització dels llots de depuradora com a combustible és zero. La prova va implicar un estalvi de més de 9000 tones de CO<sub>2</sub>.
- S'optimitza la gestió actual del pel·let i s'aprofita un combustible alternatiu que permet la substitució d'un combustible fòssil gran emissor de CO<sub>2</sub>.
- Es conclou que l'ús de llots de depuradora urbana en substitució de coc de petroli és una millora ambiental.

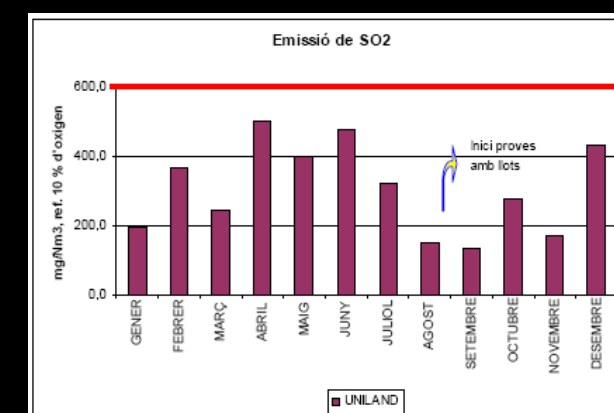
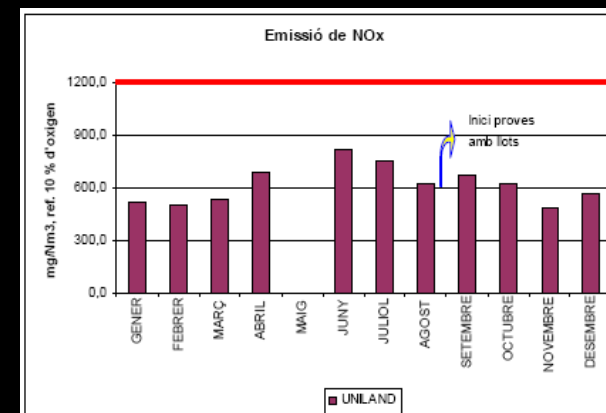
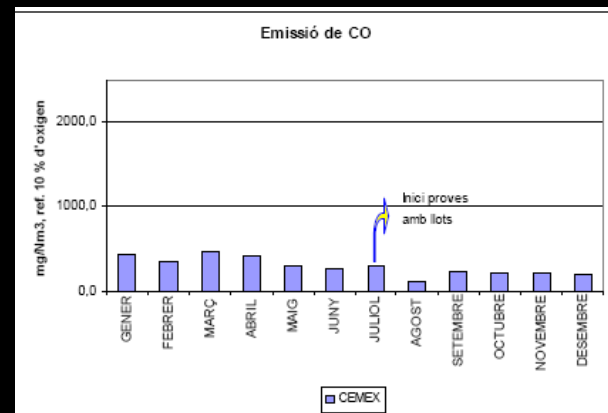
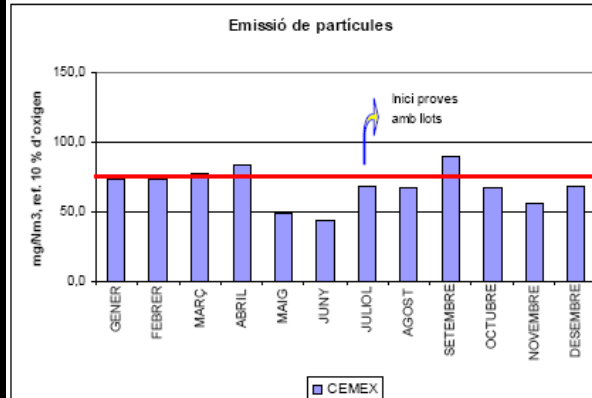
Assaig	Unitats	Mostres			Mètode
		1	2	3	
Aspecte	----	granulat	fang sec	fang sec	Visual
Color	----	negre	marro	marro	Visual
Olor	----	lleugera i inespecifica	Forta i inespecifica	lleugera i inespecifica	Organolèptica
Pèrdua a 105 °C	% m/m	4,8	10,7	4,4	Gravimetria
Pèrdua a 500 °C	% m/m	70	73	70	Gravimetria
Punt d'inflamació TAG	°C	>95	>95	>95	PE-S-902-LABE-1234
Poder calorífic superior	kcal/kg	4325	3863	4239	ASTM D 240-02
Poder calorífic inferior	kcal/kg	4002	3507	3933	ASTM D 240
Hidrogen	mg/kg	64000	70000	6% m/m	Anàlisis elemental
Sofre	% m/m	0,95	0,38	0,72	Anàlitzador elemental
Clor total	mg/kg	890	1200	1000	Bomba/HPLC Iònica
Fluor total	mg/kg	77	150	70	Bomba/HPLC Iònica
Iode total	mg/kg	130	<10	<10	Bomba/electrodo selectiu
Cadmi	mg/kg	<1	1	1,2	DIG/MO/ICP
Taill	mg/kg	<1	<1	<1	DIG/MO/ICP
Piom	mg/kg	120	79	160	DIG/MO/ICP
Crom	mg/kg	170	130	160	DIG/MO/ICP
Cobalt	mg/kg	<1	2	3,3	DIG/MO/ICP
Coure	mg/kg	250	230	260	DIG/MO/ICP
Manganès	mg/kg	320	110	230	DIG/MO/ICP
Niquel	mg/kg	57	33	40	DIG/MO/ICP
Vanadi	mg/kg	12	10	16	DIG/MO/ICP
Estany	mg/kg	39	53	<1	DIG/MO/ICP
Arsenic	mg/kg	2	3	3,3	DIG/MO/ICP/IGH
Antimoni	mg/kg	1	<1	1,5	DIG/MO/ICP/IGH
Mercuri	mg/kg	1	2	2,3	DIG/MO/EEA/IGH/VF

Paràmetre	Unitats	CEMEX			UNILAND		
		07/05	08/05	09/05	07/05	08/05	09/05
Humitat	%	0,6	0,5	0,6	0,5	0,8	0,5
Sofre	mg/kg	339	339	367	1372	1372	1891
Cadmi	mg/kg	0,2	0,2	0,2	0,5	0,5	0,9
Clor	mg/kg	6	5,6	6	33	33	85
Mercuri	mg/kg	0,0087	0,0087	0,0137	0,0254	0,0254	0,1358
Antimoni	mg/kg	0,6	0,6	0,9	0,5	0,5	4,7
Arsenic	mg/kg	5	5,4	8	5	5	35
Piom	mg/kg	5,7	5,7	10	5,4	5,4	83
Crom	mg/kg	23	23	30	28	28	29
Cobalt	mg/kg	4	4	4	4	4,4	5
Coure	mg/kg	13	13	27	44	44	77
Manganès	mg/kg	171	171	196	204	204	182
Niquel	mg/kg	14	14	22	25	25	19
Vanadi	mg/kg	19	19	26	14	14	24
Estany	mg/kg	0,7	0,7	1,4	1,4	1,4	3,6

	Unitats	MESURA CEMEX	MESURA UNILAND	REFERENT	
				legislació vigent	objectius acord voluntari
Partícules totals	mg/m <sup>3</sup> N	47	34	400	75
Òxids de sofre	mg/m <sup>3</sup> N	< 3,7	284	--	600
Òxids de nitrogen	mg/m <sup>3</sup> N	888	1187	--	1200
COT	mg/m <sup>3</sup> N	12	14	--	--
Àcid clorhídric	mg/m <sup>3</sup> N	1,7	<0,17	--	--
Àcid fluorhídric	mg/m <sup>3</sup> N	0,95	<0,3	--	--
Cd i Tl	mg/m <sup>3</sup> N	0,05	0,02	--	--
Hg	mg/m <sup>3</sup> N	0,08	0,09	--	--
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	mg/m <sup>3</sup> N	0,74	0,15	--	--
Dioxines i furans	ng/m <sup>3</sup> N	0,014	0,006	--	--

**RESULTATS amb substitució energètica del 10-15 % de coc de petroli per llots de depuradora**

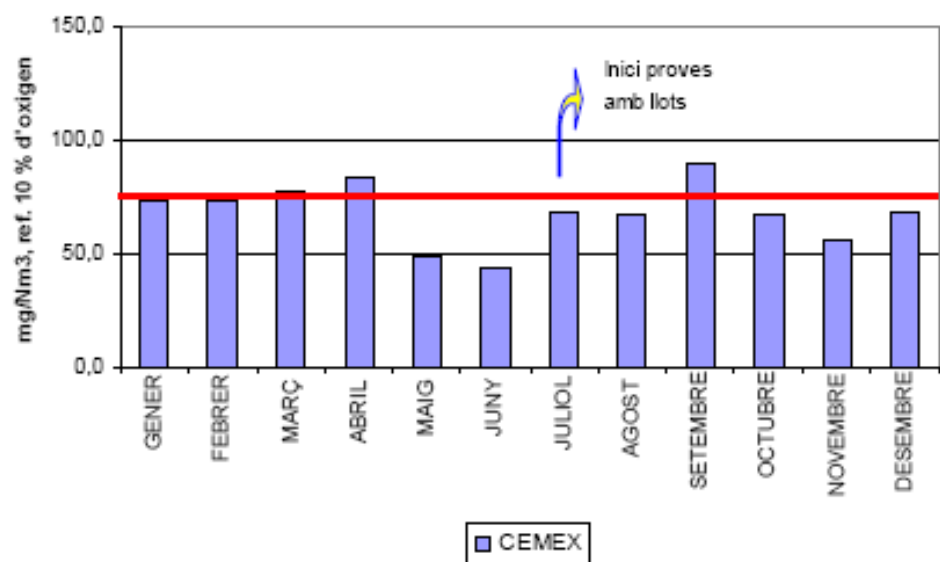
	Unitats	MESURA CEMEX	MESURA UNILAND	REFERENT RD 653/2003
COT	mg/m <sup>3</sup> N	10,1	59	*
Àcid clorhídric	mg/m <sup>3</sup> N	<1,8	4,5	10
Àcid fluorhídric	mg/m <sup>3</sup> N	<0,5	<0,19	1
Cd i Tl	mg/m <sup>3</sup> N	0,000194	0,0056	0,05
Hg	mg/m <sup>3</sup> N	0,0092	0,0034	0,05
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	mg/m <sup>3</sup> N	0,019	0,085	0,5
Dioxines i furans	ng/m <sup>3</sup> N	0,0044	0,00095	0,1
Òxids de sofre	mg/m <sup>3</sup> N	<19	-----	600 (1)



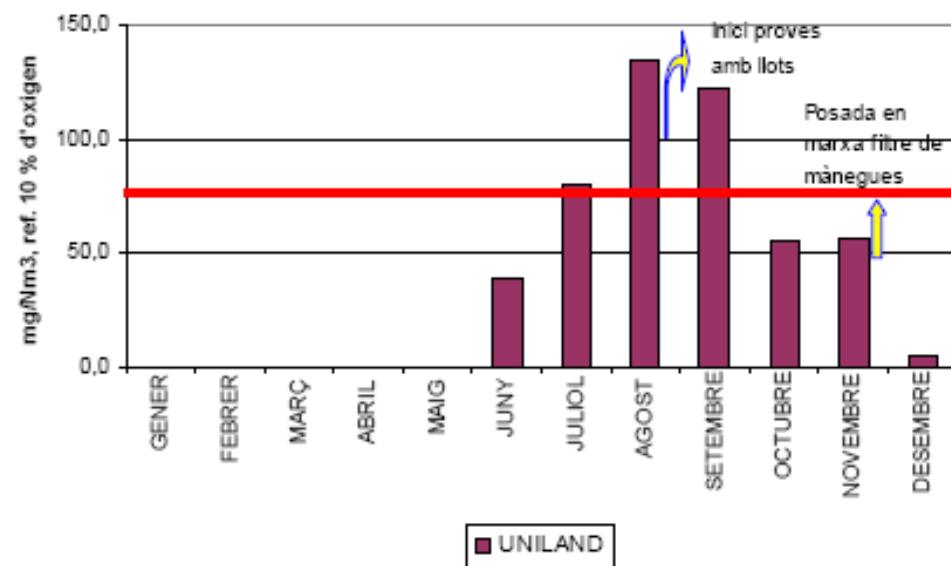
RESULTATS amb substitució energètica del 10-15 % de coc de petroli per llots de depuradora

	Unitats	MESURA CEMEX	MESURA UNILAND	REFERENT
				RD 653/2003
COT	mg/m <sup>3</sup> N	10,1	59	*
Àcid clorhídric	mg/m <sup>3</sup> N	<1,8	4,5	10
Àcid fluorhídric	mg/m <sup>3</sup> N	<0,5	<0,19	1
Cd i Tl	mg/m <sup>3</sup> N	0,000194	0,0056	0,05
Hg	mg/m <sup>3</sup> N	0,0092	0,0034	0,05
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	mg/m <sup>3</sup> N	0,019	0,085	0,5
Dioxines i furans	ng/m <sup>3</sup> N	0,0044	0,00095	0,1
Òxids de sofre	mg/m <sup>3</sup> N	<19	-----	600 <sup>(1)</sup>

### Emissió de partícules



### Emissió de partícules

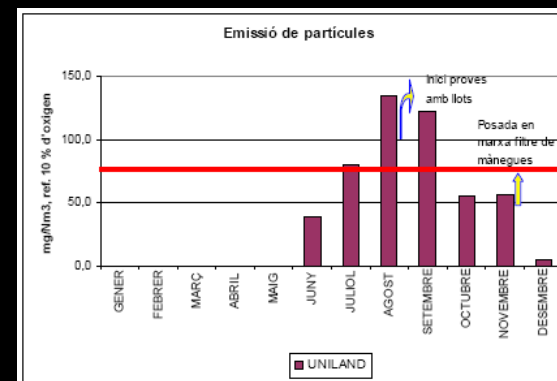
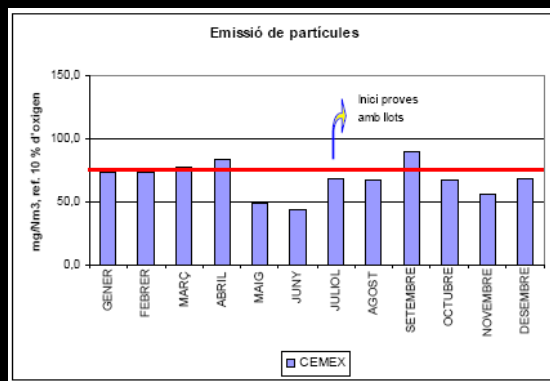




## Situació actual d'utilització continuada

Com a conseqüència dels resultats favorables assolits, des de finals de 2007 s'està fent servir els fangs secs com a combustible alternatiu a una fàbrica de ciment de l'àrea metropolitana de Barcelona.

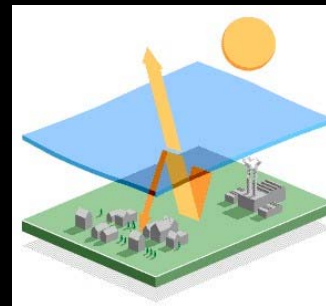
S'espera que aquest ús s'estengui a altres fàbriques metropolitanes que ja tenen la corresponent autorització però estan pendents d'adaptació de les instal·lacions.



## Situació actual d'utilització continuada

Fins al Juny de 2008 s'han fet servir ja prop de 6.000 tones de fangs secs provinents de diverses plantes d'assecatge (Montornès del Vallès, Rubí, Prat de Llobregat).

Això significa un estalvi de 6.000-8.000 tones de CO<sub>2</sub> (pendent de càlcul final) només en aquest període.



## **Resum de resultats a la situació actual d'utilització continuada**

**Tot el procés d'utilització continuada s'està portant a terme amb controls d'amissions semblants als de les proves prèvies mitjançant controls en continu o puntuals segons el cas.**

**La substitució de combustible s'ha fet de forma gradual amb mitges inicials del 3% i arribant a puntes del 10%, en termes d'energia.**

**Fins ara tots els resultats sense excepció, han estat favorables.**

**Apart de l'estalvi de CO<sub>2</sub> s'ha observat una reducció de fins a més del 20% en les emissions de NO<sub>x</sub>.**

**Jornades sobre Desenvolupament Sostenible**

**La valorització al sector del ciment**

**Fundació CEMA**

**VALORITZACIÓ DE FANGS SECS D'EDAR A**

**FORNS DE FABRICACIÓ DE CLÍNQUER**

**Experiència prèvia, i aplicació a Catalunya**

**Alejandro Josa**

**UPC-CC**