

Introducción

Una de las necesidades básicas del ser humano es la de disponer de una vivienda digna donde protegerse de su entorno. A parte de ser una necesidad, es uno de los derechos más ampliamente reconocidos y así queda recogido en la Declaración Universal de los Derechos Humanos, en el Estatuto de Autonomía de Catalunya, en la Constitución Española, y en diferentes Constituciones a través de la evolución histórica.

Por tanto, la tenencia de una vivienda digna, este derecho tan elemental, se convierte en uno de los más graves problemas de la Humanidad y con pocas esperanzas de encontrar soluciones viables si se mantienen las actuales vías de desarrollo.

La Grave Problemática Mundial de La Vivienda

A continuación se analizan los factores fundamentales que marcan la actual situación del Hábitat Humano. Éste se encuentra en un grave proceso de deterioro, sin perspectivas de mejora si persiste la utilización actual de muchas tecnologías constructivas, inapropiadas al medio y a su actual situación social, o también, por la insuficiente planificación urbanística, desbordada por el crecimiento industrial y demográfico.

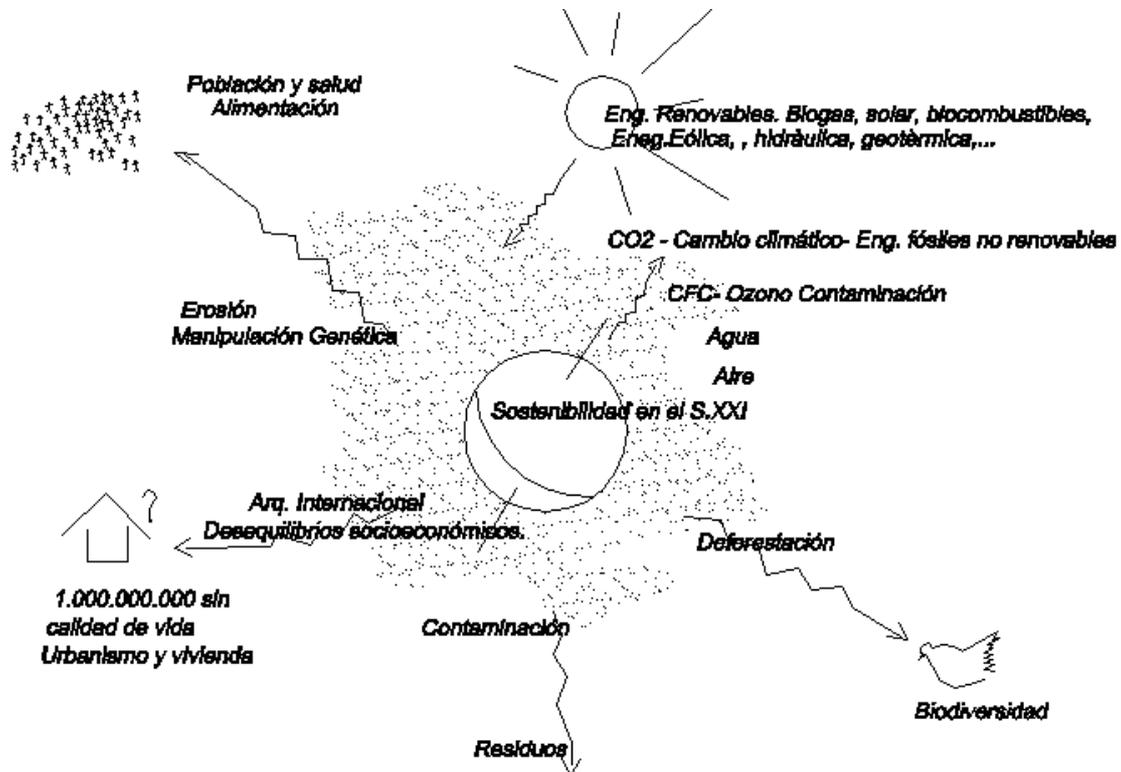
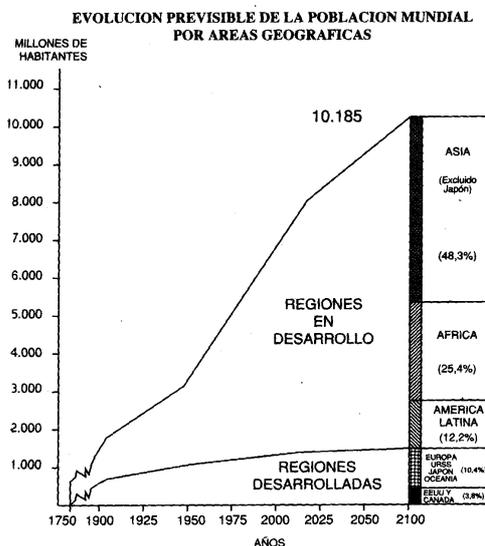


Fig. 1 Gráfico resumen de los principales factores que comprometen la sostenibilidad del desarrollo humano en la Tierra. Las flechas van desde la causa al efecto.

La Evolución Demográfica

Actualmente se mantiene una expansión demográfica, creciente en orden exponencial (ver Fig. 2) causada por la alta tasa de natalidad³ en los países del “Sur”. Esto nos acerca a la cifra de 6.000¹ millones de personas, la cual según previsiones² en el año 2.025 ya se habrá convertido en más de 8.000 millones de habitantes, dato que adquiere mayor importancia al considerar su distribución heterogénea por el Planeta.

En 25 años sólo el 15% de la población habitará en las regiones desarrolladas que actualmente ya consumen el 80% de las materias primas y de la energía mundial. En contraposición las mayores concentraciones de población se encontrarán en la China y la India con 1.050 y 785 millones de habitantes respectivamente. Respecto al mayor incremento demográfico se ubicará en Latinoamérica y África, donde su participación en la población mundial pasará del 11,5% y 8,4% actual al 20% y 9,5% respectivamente³.



Fuente: Elaboración propia con datos de T.M. Merrick, "World Population in Transition", *Population Bulletin*, vol 41, núm. 2, p. 12, 1986.

Fig. 2 Gráfico evolución demográfica. aut. Luis M. Jiménez.

Lo expuesto abre cuestiones muy profundas con difícil solución: **¿pueden casi 7.000 millones de personas en 20 años reproducir el mismo modelo de desarrollo social y económico de los países más industrializados?**

A partir de los Congresos de Naciones Unidas sobre Población,⁴ se empezó a hablar del concepto de “Transición demográfica”, como medida natural estabilizadora, de esta expansión demográfica, a partir de la mejora de las condiciones educativas, sanitarias y alimentarias⁵, así como la existencia de garantías de bienestar y trabajo, reduciéndose la necesidad de mano de obra³ y de procreación.

Esto ya se ha producido en los países “más desarrollados”, como lo demuestra la tasa española, una de las más bajas del planeta, con un crecimiento negativo que se refleja en el envejecimiento de la población.

¹ L'informatiu. Habitat II: Una reflexió necessària. Desenvolupament Sostenible 1996. Aut. Xavier Casanovas. C.O.d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Catalunya.

² Ponencias y comunicaciones del Congreso Internacional de Tecnologías Alternativas de Desarrollo. Octubre de 1988. UPM. Madrid. Asoc. Vida Sana. Tesis que sostienen que hay suficiente tierra fértil como para mantener hasta 140.000 millones de seres humanos con una dieta mixta, o la obtención de alimentos sin agroquímicos podrían abastecer los diez mil millones de habitantes del 2020 *Population Growth and Land use*. C. Clark. Mc. Millan, Londres 1968

³ Medio Ambiente y desarrollo Alternativo. aut. Luis M. Jiménez Herrero. Prof. Medio Ambiente y desarrollo. Univ. Complutense. Edt. Iepala 1989. El 39% de la población mundial es menor de 15 años, originado por la gran mortalidad infantil, garantizar la vejez a través de los hijos y la obtención de mano de obra barata en los países del Sur.

⁴ El Cairo 1994., se acuerda estabilizar la población Mundial para el año 2050 entre 7.900 y 9.800 millones de seres humanos, esto exige mayor planificación familiar y eliminar el analfabetismo femenino

⁵ Alimentos para 10.000 millones de seres humanos sin agroquímicos. Aut. Robin Jenkins. Bolt. Asoc. Vida Sana 1997.

¿Es sostenible por el ecosistema planetario sin sobrepasar el “umbral ecológico” a partir del cual los desequilibrios serán irreversibles?

El Déficit Habitacional

Países del Sur

El deterioro de las condiciones de vida y de los asentamientos humanos toma un carácter preocupante cuando se observa que todo apunta hacia un gran crecimiento urbano insostenible. Según la ONU, en el año 2.025 el 60% de la población Mundial se concentrará en Megápolis³. Esto se debe a los grandes movimientos migratorios campo-ciudad producidos por factores que van desde la pérdida de la propiedad sobre la tierra, las guerras, los golpes de estado seguidos de regímenes autoritarios, los desastres naturales “in crescendo”, la ruina económica de muchos monocultivos, y los procesos de industrialización irracional⁶. Como consecuencia, de ello se producen barrios marginales sin ninguna red de servicios y con construcciones auto-construidas con todo tipo de materiales encontrados e importados, inadecuados al clima, a la economía, y a la cultura propia. Están situados en espacios libres, de bajo costo o sin propiedad, en lugares inadecuados para ser habitados (márgenes, de ríos, montañas y volcanes, vertederos, zonas pantanosas....).

Son casos como : la “ Ciudad Perdida de México”, el “tugurio” de Bogotá; las “cuarterías” de Honduras⁷; Las favelas en Brasil⁸; La “ Ciénaga” en Sto. domingo ; “Smokey Mountain” en Manila, vertedero habitado por 25.000 personas que viven de sus basuras en un proceso de degradación.

En las jornadas sobre Arquitectura y Desarrollo Barcelona 1990, se estimaba en 60 millones el déficit habitacional en Latinoamérica, con perspectivas de llegar a los 100 millones en el año 2000. Solamente en África se piensa en cifras alrededor de los 150 millones aparte de que el 90% de los productos de la construcción son importados de los “Países del Norte”.

De la misma manera se encuentran los países orientales, donde la situación es grave tras las frecuentes y periódicas crisis financieras.

Países del Norte

Este proceso de densificación urbana también afecta a los países del Norte. Así observamos la evolución de una ciudad conocida como Barcelona, una de las más densas del Mundo, con un plan de desarrollo urbanístico de 1860, el “Eixample”⁹, en origen magnífico, pero

⁶ El Estado del Mundo. World Watch Institut. 1995. Debido al abandono y contaminación de suelo agrícola por industrial en la China, y al cambio de hábitos alimenticios a una dieta más occidental, se calcula que hacia el año 2015-2020 no habrá suficientes excedentes de grano en el mundo para satisfacer a los 1500 millones de chinos que habrá

⁷ Geografía de Honduras” Noe Pineda Portillo. Tegucigalpa D.C Graficentro editores.1984. “cuarterías”, con superficies de 20 m2. para quince o más personas. Según cálculos del Consejo Superior de Planificación, tenía en el año 1975 un déficit cercano a los 400.000 viviendas, en frente de una población de sólo 3.000.000 de personas, producto de las migraciones a las grandes urbes como Tegucigalpa, San Pedro Sula y la Ceiba, y al crecimiento vegetativo de la población, donde sólo se construyen una octava parte de las viviendas necesarias debido a la falta de recursos. No hay duda que tras el paso del Huracán Mitch, el panorama ha empeorado enormemente.

⁸ “El mal desarrollo en América Latina”. René Dumont y M. F. Mottin. Panorama Editorial. 1982. En 1980, en Río había 1.800.000 habitantes viviendo en las favelas, aferrados en su mayoría en los mornes (cerros), en una zona de suelo y aguas contaminadas por las cloacas y escombros, lleno de perros, ratas, pulgas y moscas, con enfermedades como la tracoma y la. O en Recife, de 800.000 a 2.000.000 habitantes vivían en favelas, al final de la playa, o la favela de Brasilia Temosa (testaruda) siempre resistiendo a los ataques de la policía, siendo destruida por la noche, y vuelta a construir al día siguiente, o más lejos en Coque en el apilamiento inhumano Rocinha. Las familias están apretadas en refugios de cartón pegados con cinta adhesiva y los agujeros están tapados con drapos. Para obtener agua se tiene que hacer cola y pagar. La situación con las basuras y sanitarios es desastrosa, son barrios construidos encima de las basuras, donde todo se tira en medio de las casas, esperando que se lo lleve la marea.

⁹ El Ensanche de Barcelona. Manuel de Solà Morales. ETSAB 1978. “ Todo edificio deberá tener espacio destinado a patios, jardines, huertos,...no pueden tener más que bajos, primero y segundo piso..., concentrado en dos bloques dejando dos lados abiertos de la manzana.” El punto básico de proyectación será la red viaria...”...” gran preocupación por los aspectos sociales (higiene, equipamientos,...”

que actualmente ha sido desbordado y ahogado por miles de viviendas apiladas y entremezcladas con fábricas y "calles para tránsito motorizado. Esto se debe a la falta de territorio edificable, una política descentralizadora de infraestructuras y servicios, como del sector terciario, provocando una especulación sin fin que aleja la vivienda de las posibilidades económicas de la gente con menos recursos, creándose un **“Cuarto Mundo”**.



Fig3.L'Eixample de Barcelona

A modo de resumen de los dos puntos expuestos anteriormente podemos tomar las conclusiones de Hábitat 88, donde la ONU hizo una previsión para el siglo XXI de un déficit habitacional mundial, que afectaría alrededor de 1.000.000.000 de personas, las cuales viven actualmente en infracondiciones. A esto cabe añadir los más de 100 millones de “homeless”, personas sin hogar, que aparecen incluso en zonas supuestamente desarrolladas, como lo demuestran los cinco millones que hay en Europa, o los casi cuatro existentes en los EUA⁶.

Salud y Hábitat

Mientras en los Países más industrializados el nivel de salud y la calidad de vida está en constante mejora, como lo demuestra el aumento en la esperanza media de vida a 63 años, 17 más que en 1.960, y de más de 70 años en 26 países, o los 76 años en la ciudad de Barcelona, en el resto del Planeta la situación es de gran precariedad.

Así nos estremecen datos como: 1.500 millones de personas no tienen acceso a servicios de salud y 2.300 millones a la sanidad; 1.300 millones no tienen acceso al agua potable; en África subsahariana uno de cada 40 adultos y casi un millón de niños están afectados de SIDA; 180 millones de niños sufren desnutrición y 14 millones mueren anualmente antes de los cinco años; casi mil millones sufren hambre y más de cien millones murieron por ella en el año 1.990.

La salud de los seres humanos no es un elemento autónomo dentro del medio, sino viene condicionada por la multitud de relaciones con éste, que pueden repercutir directa o indirectamente en su cuerpo y mente. Cuando hablamos de salud se tiende a medirla por la ausencia de síntomas físicos inmediatos, y no por el estado total del individuo.

A pesar de ello hoy en Barcelona no hay lugar ni para el verde ni para el peatón que no quiere ruidos ni humos. Como satélites a la metrópoli, la rodean Bellvitge, Ciutat Meridiana, Verneda, Guineueta, etc, enormes panales de hormigón inhumano donde el hombre queda alienado a las máquinas de habitar

La O.M.S (Organización Mundial para la Salud) en el año 1952 describía : **" la buena salud como un estado de completo bienestar físico, mental y social además de la ausencia de enfermedades"**.

Es fundamental que el hábitat sea digno y sano, debiéndose de tener en cuenta los condicionantes culturales, económicos, y sociales, a la vez que los tecnológicos de confort y salubridad, cómo ventilación (1-2m³/ocupante), temperatura, humedad, insolación, iluminación, espacio, ruido, las instalaciones de agua potable y del sistema de evacuación de aguas residuales, que eviten la contaminación de los niveles freáticos, y la proximidad de las viviendas a vertederos, cementerios, pantanos, ríos y rieras. Cualquier omisión de estos factores se convierte en punto transmisor de enfermedades¹⁰ o de proliferación de sus vectores¹¹. Esto queda generalmente subordinado a las urgencias o a factores económicos, degenerando el hábitat humano en el panorama desolador anteriormente descrito, lo cual provoca enormes problemas sanitarios, que para entonces resolverlos, se deben utilizar recursos muy superiores a los que se habrían necesitado para evitarlos. Así más de sesenta millones de viviendas, albergando a más de seiscientos millones de personas, no cumplirían estos mínimos aceptables⁶.

El problema adquiere una dimensión mucho más extensa, cuando entran en juego otros factores más sutiles, hasta ahora desconocidos u omitidos, que nos lleva al "síndrome del edificio enfermo"^{12 13}, o de los edificios que enferman a sus moradores, denominados con este término cuando estos llegan a afectar a más del 20% de sus ocupantes. Normalmente este síndrome se presenta en edificios antiguos que han sido rehabilitados^{14 15}. La OMS advierte que el aire viciado¹⁶ es la principal causa del síndrome, a parte de la contaminación acústica y lumínica. Los síntomas son mareos, jaquecas, dolor e irritación de garganta y ojos, gusto metálico en la boca, náuseas, asma, fatiga, desorientación, y, en algunos casos, lipotimias y convulsiones. Así se dio en 1990 afectando a 93 de 150 empleados del Commerce Building de Salem, Oregón, también un caso similar en 1976 en una Convención de la legión Americana en Filadelfia con 182 afectados de fiebre, trastornos psíquicos, tos, dolor en el pecho o cabeza, de los cuales 28 fueron víctimas mortales, ya que sin tratamiento deriva en una neumopatía extensiva, insuficiencia respiratoria y muerte. Causado por una bacteria residente en las instalaciones de climatización, esta se denomina a partir de entonces, "Legionella pneumophila", debido al evento. Otra enfermedad muy parecida es la fiebre del humidificador¹⁷ producida por partículas biogénicas, procedente de la industria textil del papel o de la madera, que nutre a toda esta habitual serie de

¹⁰ Resum Master Med. Tropical 1991, apartat d'habitat, per G. Barbeta, col.laboració amb Internón.

¹¹ "Medicina Preventiva, salud pública e higiene". Ch. Gernez-Rieux i M. Gervois. Ed. Limusa.

... parásitos, hongos, y artrópodos (Chagas por Triatomas, Paludismo por anófeles, fiebre amarilla por aedes), bacterias y virus en la comida.

¹² "The Sick Building Syndrome" Doctor Emil Bardana. 50º congreso del colegio Americano de Alergia e Inmología. Chicago 1992. Término adoptado por la OMS como SEE.

¹³ Biological contaminants in the built environment and their health implications. Dr. Jagjit Singh. Hutton+Rostron Invest. Gomshall. Edit. Building research and Information. Volume 21 N°4 1993.

¹⁴ La contaminación del aire en el interior de las viviendas. Enric Aulí Mellado, Doctor en farmacia. Diplomado en Ingeniería Ambiental. Jefe del Servicio de Sanidad Ambiental de la Generalitat de Catalunya.

¹⁵ "Integration of natural ventilation systems and factory building's architectural elements, related with thermal comfort and indoor environment air quality". Aut. T.C.F. Queiroz y L.E.G. Bastos Univ. F. Rio de Janeiro. Environmental Friendly Cities, proceedings of Plea '98, Lisboa, Portugal, Junio 1998. Pág. 475-478 Edit. James & James Science Publishers Ltd. 1998.

¹⁶ NIOSH Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional de los EE.UU. El 62% de los edificios carecen de aire fresco, el 33% no tienen ningún tipo de ventilación, el 61% filtros de aire ineficaces, de estos un 18% mal instalados, el 58% muestran instalaciones de ventilación sucias, con la alarmante cifra de que el 22% tienen los conductos contaminados, como conclusión sólo un 25% de los edificios analizados estarían bien ventilados.

El Worldwatch Institute estima que el 30% de los edificios nuevos o rehabilitados sufren el síndrome del edificio enfermo.

¹⁷ Jan. A.J. Stolwijk. Prof y jefe del Dept. Epidemiología de la Univ. de Yale.

microorganismos (Hongos de degradación, como el aspergillus detectado en tantos centros hospitalarios, ácaros y arácnidos, virus, algas, polen, o excrementos de insectos), causantes de una especie de gripe con alergias laborales.

En el ámbito doméstico y coincidiendo con la bajada de los niveles de contaminación en la calle, la introducción de nuevos materiales y de nuevas actividades dentro de las viviendas, así como las nuevas técnicas de construcción y especialmente el aislamiento térmico del exterior, impulsado a partir de la crisis energética del 73, han provocado un aumento significativo de la contaminación interior. Los primeros síntomas graves que llamaron la atención sobre este nuevo problema se produjeron a finales de los 70, a partir de los trastornos creados por el asbesto (amianto) en algunas escuelas de los EE.UU., o en la misma sede comunitaria¹⁸ de la CEE “Berlaymont” y las quejas de consumidores de productos comerciales que desprendían formaldehído, provocándoles trastornos respiratorios y oculares.

Actualmente en los países del “Norte” estas repercusiones de la contaminación en la salud son mucho más preocupantes que las producidas por contaminantes exteriores. Entre estos **factores de riesgo**, que evidentemente actúan sinérgicamente, debemos tener en cuenta¹⁹:

- **Emisiones de radiactividad**²⁰ procedente de los materiales de construcción (gres o azulejos con sales de torio para conseguir tonos metálicos, granito, pizarras de alumbre, cenizas volantes y escorias de silicato de calcio para hormigones, la fosfogisgina utilizada para paneles de yeso y bloques de hormigón, rocas de fosfatos¹⁴), de pararrayos, instalaciones sanitarias, y del gas radón²¹, de origen natural procedente del subsuelo, debido al decaimiento radiactivo del torio y radio, emitiendo partículas α , y al ser más pesado que el aire se acumula en sótanos y plantas bajas. Es destacable el efecto sinérgico con el humo del tabaco (nicotina, nitrosaminas e hidrocarburos aromáticos poli cíclicos) en la formación de cáncer de pulmón¹⁴, o como agente mutagénico²². Se ha clasificado como elemento carcinogénico humano clase A, ya que con solo 200 Bq/m³ el factor de riesgo se duplica²³. Así este nivel es adoptado por la mayoría de los países como el límite máximo para construcciones nuevas, aunque en EE.UU. se reduce hasta 150 Bq/m³. Los factores que determinan su acumulación depende de la estructura geológica, la presencia de fallas, el clima, y los materiales de construcción empleados (desencofrantes, puzolanas, granitos,

¹⁸ Edificio construido en los años70, fueron selladas las ventanas con fibra de amianto, compuesto altamente cancerígeno, encontrándose concentraciones en el aire de 0,08 fibras /cm³, cuando la propia CEE establece un máximo de 0,001, lo cual obligaría a reformar a más de la mitad de edificios públicos españoles.

¹⁹ El Libro de la Casa natural. David Pearson. Integral. 1995

Geobiología “La Medicina del Hábitat” Aut. Raúl de la Rosa Edit. Terapion S.L. 1994.

“El Gran Libro de la Casa Sana”. Aut.Mariano Bueno. Edit.Martínez Roca S.A. 1992.

²⁰ Edificio construido en los años70, fueron selladas las ventanas con fibra de amianto, compuesto altamente cancerígeno, encontrándose concentraciones en el aire de 0,08 fibras /cm³, cuando la propia CEE establece un máximo de 0,001, lo cual obligaría a reformar a más de la mitad de edificios públicos españoles.

²¹ Radiación, dosis, efectos, riesgos. Programa de las naciones unidas para el medio ambiente PNUMA Edit.Csn 1987.

La radiaciones ionizantes y la salud. Centre d’anàlisis y programes sanitaris, Barcelona 1988

“Safety Standard Is Set on Radon in US Homes”, The New York Times, 15 de agosto 1986

Vigilancia del radón en las casas/ Informe danés radón en las viviendas, flash nuclear, forum atómico español n° 156-157.1988

²² Provocan mutaciones en el ADN :Jos rayos ionizantes, los ultravioletas, las sustancias radioactivas,anaranjado de acridina (tintes), aflatoxina (toxinas de hongos), Bencidina (tintas), Benzo pirona (mala combustión), captan (Fungicida agrícola, elementos antibacterios en los jabones), ciclamat (endulcorante artificial), cloramfenicol (antibióticos), cloruro de vinilo (fabricación de plásticos y aerosoles; refrigerante),ethidium bromide (bromur d’etidina)(utilizado por los veterinarios para combatir las infecciones por tripanosomes), trimetil fosfat (TMP) (Aditivo en la gasolina,disolvente de pinturas y catalizador), humo concentrado de tabaco (pulmones de los fumadores), N-metil-N’-nitro-N-nitrosoguanidina (MNNG)(alquilante), Nitril sódic (uso industrial,médico y veterinario), proflavina (antiséptico), uracil (tratamiento anticáncer).Fuente: Ecoscience, Erlich

²³ “ Environmental Issues of Building Materials”. Aut. Rosa Caponetto, Santi Maria Cascone y Luigi Marletta. Dept. Arquitectura Univ. Catania, Italia rosa@dau.ing.unict.it Environmental Friendly Cities, proceedings of Plea’98, Lisboa, Portugal, Junio 1998. Pág. 529-530 Edit. James & James Science Publishers Ltd. 1998.

lavas)²⁴, y el efecto vendrá directamente condicionado por el número de renovaciones diarias de aire y por el tipo de vida de los ocupantes.

- **Emanaciones de gases y partículas tóxicas** procedentes de los materiales de construcción, del mobiliario, y del aire exterior: tal como se ha expuesto el asbesto, las crisotilas²⁵ o la lana de roca, la fibra de vidrio, desprenden en su proceso de fabricación, aplicación, vida útil o reciclaje, micro fibras carcinogénicas que afectan a las vías respiratorias; del proceso industrial, incineración, y vertido del PVC^{26 27}, de los pesticidas²⁸ y de los disolventes, implicando la formación y emisión al medio de sustancias organocloradas tóxicas, persistentes y bioacumulativas²⁹ (los vapores del cloruro de Vinilo, hexaclorobenceno/inhibe el desarrollo y afecta al metabolismo, PCBs-bifenilo policlorado, furanos, dioxinas³⁰, los ftalatos y las aminas que son plastificantes del PVC, provocan trastornos de cabeza, náuseas, irritaciones, daños en el sistema nervioso, inmunológico y reproductor, hígado y riñones, siendo a la vez cancerígenos); moquetas, aislantes, y conglomerados de madera amalgamados con resinas de urea formaldehído¹⁴, y naftaleno en estratificados (irritación ojos y vías respiratorias, asma, dolor de cabeza, mareos, náuseas, fatigas, alergias y cáncer naso-faríngeo y de la cavidad bucal); procesos de combustión interna y combustión incompleta provenientes de la calefacción, la cocina, la ducha, secadores (CO, CO₂, SO₃, NO₃, e hidrocarburos policíclicos emitidos por estufas leña, conllevando trastornos en el sistema nervioso y respiratorio); los fenoles presentes en detergentes, caucho, gasolina, plásticos, humo de tabaco y fibras sintéticas, conllevan el riesgo de irritación de la piel y ojos, dolor de cabeza, pérdida de apetito, somnolencia, leucemia y enfermedades de la sangre; pinturas, tintes, lacas, adhesivos y barnices (con tricloroetileno posible causante de cáncer de hígado, problemas hepáticos, renales o del bazo, cardíacos y alteraciones nerviosas); ambientadores, aerosoles, perfumes, jabones, productos de tintorería, (hidrocarburos alifáticos y aromáticos policíclicos, aunque se deben

²⁴ Los aceites utilizados en el hormigón. "Variation in emission rates highlights need for product-specific data " *Healthy Materials*, n3. CHH3 SCHL, canada, 1995.

²⁵ Bélgica invertirá 240.000.000 para limpiar 3.000 edificios con amianto. "L'Informe" const. sostenible aut. R.Graus COAT. Barcelona 1996. En 1994 en España se consumieron todavía 34000Tn, frente a las 163 Tn de Alemania. Sólo en Francia se calculan unas 1.200 víctimas por cáncer de pulmón por año y otros 750 por cáncer de pleura (mesotelioma, se manifiesta 40años después del contacto). La manipulación engendra mayor riesgo, ya que volatiliza las fibras en el aire, pudiendo ser entonces respiradas.

²⁶ Moción al Senado 19/12/95 por el grupo socialista.. "Que el Gobierno de la Nación encargue un estudio exhaustivo sobre los riesgos del PVC, uso y aplicación con indicación de los materiales plásticos alternativos y no nocivos para atender, mediante la normativa pertinente, a una reducción paulatina de su uso en España". Se comenta este hecho para la designación de Sidney como ciudad olímpica, o para la presentación de la candidatura de Sevilla para el 2.004. La problemática de la utilización de PVC. : resistencia a la difusión del vapor de agua elevada; gran consumo energético; emite 19,5 gr. de mercurio por Tn de cloro producido; emite organoclorados al utilizar electrodos de grafito; emisión, generación, derrames y escapes de sustancias tóxicas como las dioxinas, el dicloroetano, las cargas para la fabricación como el amianto, estabilizantes y lubricantes como el plomo, plastificantes como los ftalatos, metales pesados como pigmentos (antimonio, cadmio, plomo, cromo, zinc), y agentes soplantes como el CFC (efecto invernadero); sólo se puede reciclar en un 20%; en caso de incendio desprende rápidamente grandes cantidades de dioxinas, cadmio y ácido clorhídrico afectando a las vías respiratorias, motivo por el cual más de 100 municipios europeos lo han prohibido en edificios públicos.

²⁷ Moción al Senado 19/12/95 por el grupo socialista.. "Que el Gobierno de la Nación encargue un estudio exhaustivo sobre los riesgos del PVC, uso y aplicación con indicación de los materiales plásticos alternativos y no nocivos para atender, mediante la normativa pertinente, a una reducción paulatina de su uso en España". Se comenta este hecho para la designación de Sidney como ciudad olímpica, o para la presentación de la candidatura de Sevilla para el 2.004. La problemática de la utilización de PVC. : resistencia a la difusión del vapor de agua elevada; gran consumo energético; emite 19,5 gr. de mercurio por Tn de cloro producido; emite organoclorados al utilizar electrodos de grafito; emisión, generación, derrames y escapes de sustancias tóxicas como las dioxinas, el dicloroetano, las cargas para la fabricación como el amianto, estabilizantes y lubricantes como el plomo, plastificantes como los ftalatos, metales pesados como pigmentos (antimonio, cadmio, plomo, cromo, zinc), y agentes soplantes como el CFC (efecto invernadero); sólo se puede reciclar en un 20%; en caso de incendio desprende rápidamente grandes cantidades de dioxinas, cadmio y ácido clorhídrico, motivo por el cual más de 100 municipios europeos lo han prohibido en edificios públicos.

²⁸ Cuadernos de Ecología Aplicada. Monteoliva 1979. Los hervicidas, catiónicos y arseniacales de urea o triacina también son persistentes / Orden del Ministerio de agricultura del 4 de Diciembre de 1975 prohíbe su venta y distribución. DDT/, persistencia 4-30 años, HCH- Heptacloro/ pers. 3-5 años, Aldrin/ pers.31-6 y Lindano/ pers. 3-10

²⁹ Pablo Mascareñas. Envenenando el futuro. Greenpeace IV 1998. Los compuestos organoclorado són disruptores hormonales solubles en las grasas, acumulándose en los tejidos. En el lago de Ontario se estudiaron los niveles de acumulación en cadenas tróficas, los peces presentaban 25 millones de veces PCBs que en el agua. Su gran persistencia y movilidad por aire y agua hace que incluso se hayan encontrado en las aguas de deshielo de los Glaciares de las Montañas Rocosas, o en la leche materna de los Inuit en el Ártico.

³⁰ La OMS clasifica la dioxina 2,3,7,8-TCDD como sustancia cancerígena en seres humanos.

evitar toda la relación de sustancias tóxicas de la ley 20/1986³¹, se les atribuye un efecto sinérgico o aditivo carcinogénico).

- **Los campos electromagnéticos**^{32 33 34}: exteriores^{35 36} (líneas de alta tensión³⁷, transformadores³⁸, vías de tren electrificadas); interiores (electrodomésticos, pantallas de TV y ordenador, transformadores, instalación eléctrica en anillo, conductores infradimensionados, falta o ineficacia de la toma de tierra, radiodespertadores). Se ha demostrado un efecto carcinogénico (factor de riesgo x1.7), productor de leucemia mieloide crónica (factor de riesgo infantil a 300 η T x3.8)., Acción sinérgica en la producción de tumores cerebrales (x2.15)³⁹.
- **Alteraciones del campo de radiación natural terrestre**^{40 41 42}, estas se asocian a trastornos en el sueño(reducción de la serotonina), dolores de cabeza, efecto sinérgico o

³¹ Arsénico (madera tratada a presión, carbón, petróleo, detergente, insecticidas, actividades mineras/peligro eventual, puede causar cáncer), mercurio/ en pinturas (carbón, baterías eléctricas/ una pila botón contamina el agua necesaria para 4 personas para toda su vida/ efectos sobre riñones y nervios, puede provocar la muerte), talio, berilio, el cadmio (carbón, minas de zinc, humo del tabaco, crema de plásticos/ aumenta la presión de la sangre, enfermedades cardiovasculares, interfiere en el metabolismo del zinc y del cobre), plomo / presente en superficies pintadas, canalizaciones, juntas, (ingestión máxima día 0.4mg.OMS, humos del automóvil/ dañan al tejido cerebral, hígado y riñones, convulsiones, alienación mental, muerte), selenio, telurio, los fenoles, el antimonio (industria/acorta la vida de las ratas) y además de estos todos sus compuestos, los isocianatos, los compuestos órgano halogenados, los cianuros orgánicos e inorgánicos compuestos de cromo hexavalente, los disolventes clorados y orgánicos, los peróxidos, los cloratos, los hipercloratos, el pentaclorofenol (protector madera), percloroetileno (limpiador/daña hígado y riñones), los nitruros, los éteres, el amianto, residuos de la fabricación del dióxido de titanio, los carbonilos metálicos, los compuestos solubles de cobre (ingestión máxima día 30mg.OMS), níquel (gas-oil, carbón, humo del tabaco, catalizadores, aceros y aleaciones no férricas/ cáncer de pulmón), germanio(carbón/ poca toxicidad), vanadio(petróleo(Venezuela, Irán), catalizadores, acero y aleaciones no férricas/probablemente no comporta peligros a bajos niveles). Fuente: De Chemical and Engineering News, 49 (julio, 1971).

³² "Contaminación Energética: La industria nuclear no es la única que presenta riesgo para la salud. Aut. Daniel Deprís. AURORA. S.Maló France.

³³ "Criterios de higiene del medio ambiente". Frecuencias radio-eléctricas e hiperfrecuencias. nº16 Ginebra 1981

³⁴ "La protección contra las radiaciones no ionizantes". OMS. Copenhague 1985.

³⁵ Michael Repacholi. Dir. Proyecto de Campos Electromagnéticos de la OMS. 1998. investigaciones destinadas a establecer la relación entre la aparición de cáncer y de enfermedades del sistema nervioso central y teléfonos celulares, líneas de alta tensión y radares.

³⁶ Fréquences radioélectriques et hyperfréquences. Critères d'hygiène de l'environnement OMS, Ginebra, 1981.

³⁷ según J.Kulczycki el umbral de nocividad de campo eléctrico sería de 6v/m y peligroso de 6 a 14 volts/metro. Para campo electromagnético sería 65nT (nanoteslas) como umbral de nocividad, y 65 / 250 nT zona de exposición peligrosa.

³⁸ Dr. Santos Martín, Doctor en Medicina y Oncología. Medicina Ambiental. Edit. Integral Enero 1999. "Alergias, cáncer y enfermedades autoinmunes tienen mucho que ver con la calidad ambiental. Los fenómenos de la enfermedad que apreciamos no son específicos de la causa que la provoca, sino de la respuesta orgánica que éstos provocan en el cuerpo. Esto significa algo elemental: El hecho de que Ud. no tenga problemas por tener una línea de alta tensión cerca, no significa que su vecino tampoco los tenga y viceversa. Dr. Joan Carbonell. Espec. Epidemiología. Hospital J.Trueta. Girona. Establece el multiplicador de 1.6 a 2 para los riesgos de cáncer y leucemia por CEM en función de la distancia. A partir de 100 metros se desestiman los efectos.

³⁹ Bioelectromagnetismo y pineal / radiaciones no ionizantes en Biología y Medicina. Aut. José Luis Bardasano. Inst. Alonso de Sta. Cruz. Univ. Alcalá de Henares.

⁴⁰ Prof. Karl E.Lotz Univ.Ingeniería de la Construcción de Biberach. Las distancias mínimas a una vivienda deberían ser de 250m, de 450m. si ésta se encuentra al Sur, y de 112m. si es al Norte.

⁴¹ Michael Nelson. Univ de Oregón EE.UU. Rev. Nature 1995. Relación parasitaria entre los CEM. y glóbulos blancos que llegan a absorber magnetita del medio, pudiendo dar falsos positivos al intentar relacionarlo con la leucemia.

⁴² Redes de Alta Tensión. Dr. Luis Fernández. El tendido de líneas subterráneo sólo atenúa el campo eléctrico a nivel de suelo <http://209.41.35.169/revist40/lferna40.htm>, el coste es 20 veces superior.

Un estudio realizado por Dennis Henshaw, investigador de la Universidad de Bristol, publicado en el Internacional Journal of Radiación Biológica afirma que las fuerzas electromagnéticas liberan el radón existente en las paredes de los edificios, elemento que es asimilado por el organismo con serio riesgo para aquellas personas con cánceres no desencadenados. 1979, Nancy Wertheimer y Ed Leeper (Universidad de Colorado), estudiando casos de leucemia infantil en Denver, descubre una relación entre los casos observados y la proximidad a líneas de alta tensión o de los grandes transformadores (primer estudio epidemiológico sobre el tema). En 1987, Savitz (Universidad de Carolina del Norte), quien durante siete años realiza estudios de casos de cáncer en menores de 15 años teniendo en cuenta los campos electromagnéticos producidos por electrodomésticos, publica sus resultados: los menores expuestos a campos elevados corren de 1,3 a 1,6 mas riesgos de contraer cáncer que los no expuestos; y en el caso de la leucemia, los riesgos se duplican. Sin embargo, no se han encontrado, todavía vínculo alguno entre el mayor riesgo y los campos eléctricos medidos.

La regulación de la glándula pineal ha tenido bastante divulgación, con base en el principio de que la hormona producida, llamada melatonina tiene un efecto anti-oncogénico y por tanto protector contra el cáncer, es suprimida por los CEM. Russel Reiter.prof. Neuroendocrinología. Univ.San Antonio de Texas. E.E.U.U (1993)

El Departamento de Energía de Orlando, EE.UU., comprobó (en 1992) el efecto sinérgico entre ruido, contaminantes químicos y radiación electromagnética con serias consecuencias en los primeros estadios de la gestación.

⁴³ Informe IMN 6/92 Karolinska Institutet för Miljömedicin. Campos Magnéticos y cáncer en personas residentes cerca de líneas de Alta tensión en Suecia.. aut. Maria Feychlin y Anders Ahlbom. Estocolmo 1992.

Estudio de exposición laboral a los CEM Dep. Neuromedicina. Inst.Nacional de sanidad laboral. Solna. Suecia 1992

American Journal of Epidemiology. Vol 134 nº9. 1º de Noviembre 1991.

⁴⁴ Proyecto de investigación sobre construcción ecológica. D. Angel Gandía García Arqto.Tec. CO. Arquitectos Técnicos de Valencia. 1991.A través de un magnetómetro de protones propio se midió el campo magnético terrestre de un terreno registrando, através de gráficos informatizados, perturbaciones provocadas por corrientes subterráneas de agua. También se detectaron aumentos de radioactividad sobre fracturas geológicas de un 15 a un 70%, con un contador geiger.

aditivo carcinogénico (reducción de la actividad del timo, hiperactividad de la glándula suprarrenal, alteración en las ondas cerebrales, alteraciones electrolíticas en el corazón y en la polaridad de las células)¹⁹.

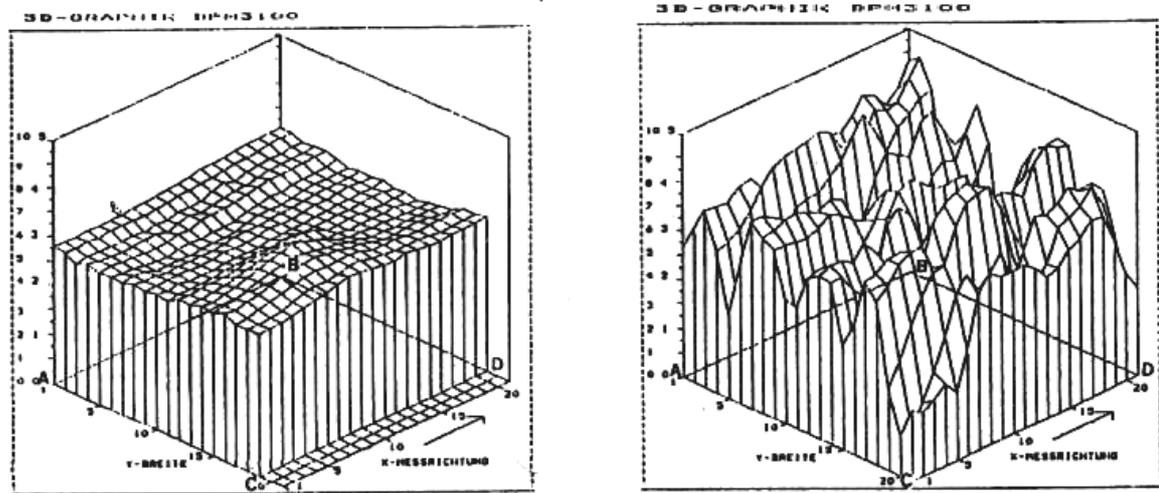


Fig. 4 Mediciones con geomagnetómetro de protones de una zona neutra y de un terreno con alteraciones

- **La ionización del aire** producida por las radiaciones descritas, y por el desprendimiento de cargas electrostáticas provenientes de materiales sintéticos como moquetas, plásticos, metales, fibras y textiles sintéticos de PVC, Poliamida, Nylon, Aramid. También puede proceder de grandes masas metálicas³⁷ como los automóviles, de aquí la importancia de alejar el garaje de las zonas de descanso, a parte de que todos los compuestos volátiles tóxicos que se desprenden del motor caliente (cadmio³¹, plomo, hidrocarburos) pueden penetrar en la vivienda.

Capacidad de carga electrostática V/m			
Parquet de roble con tratamiento natural	-200	Madera de roble sin tratamiento	0
Placa de fieltro de aislamiento	+130	Poliestireno	-660
Placa de fibra de madera blanca	+50	Esmalte químico DD	-20.000
Tablero aglomerado sin tratamiento	-250	Placa de PVC.	-34.000
Tablero aglomerado con melamina	+4.000	Polietileno transparente	-65.000

⁴¹ Dr. Ernst Hartmann. Univ. Heidelberg, Alemania, establece la existencia de la red geomagnética Norte-Sur de 2x2,5 m. y comprobando la existencia de patologías médicas asociadas a su alteración por fallas geológicas y aguas subterráneas. Prof. Karl E. Lotz Fac. Ingeniería de la Construcción de Biberach. En su libro Ecobioconstrucción, establece que la radiación terrestre natural se origina por la desintegración de partículas radioactivas de la corteza terrestre, dando rayos α - β - γ que a su vez destruyen núcleos de berilio emitiendo entonces haces de neutrones térmicos hacia la superficie de 25meV, siendo estos desviados y concentrados por el movimiento de aguas subterráneas (formación de corrientes de mV/ las células trabajan a 60-90mV) o de fallas geológicas. Estas franjas de alta frecuencia provocan efectos perturbadores sobre el reglaje biológico. Las zonas geopatógenas provocan en árboles galvanotaxia, necrosis de la médula, bifurcaciones, galas, crecimiento helicoidal. Investigaciones de la Unidad de Fisiología Animal de la Facultad de Biología de Valencia. Dr. Javier Núñez y Manuel Núñez. Se demostró la diferente respuesta inmunológica de ratones ante las variaciones geomagnéticas. según J. Kulczycki en "Basis of Electrmagnetic Hygiene", se establecen las alteraciones del magnetismo terrestre en nano tesla/metro nT/m. el umbral de nocividad serían 2000nT/m, una zona perturbada 3000/10000nT/m.

⁴² Premio Nobel de física nuclear Rutherford, y los astrofísicos Mc Lennan, Goeckel y Kohluster, demostraron la existencia de las ondas cósmicas ultrapenetrantes. El Prof. Piccardi. Univ. Florencia demostró que las moléculas de agua hacían de resonadores de estas ondas, modificando el CEM según demostró. G. Lakhorsky.

- **La contaminación acústica**³⁵. Los 60 DB marcan el umbral máximo para evitar posibles daños. Afecta irritando el sistema nervioso central y vegetativo provocando estrés permanente, un incremento de frecuencia respiratoria y cardiaca, disminuye la circulación periférica y la motilidad gástrica, y un aumento de la tensión arterial (Barcelona es la segunda capital europea con más contaminación acústica).

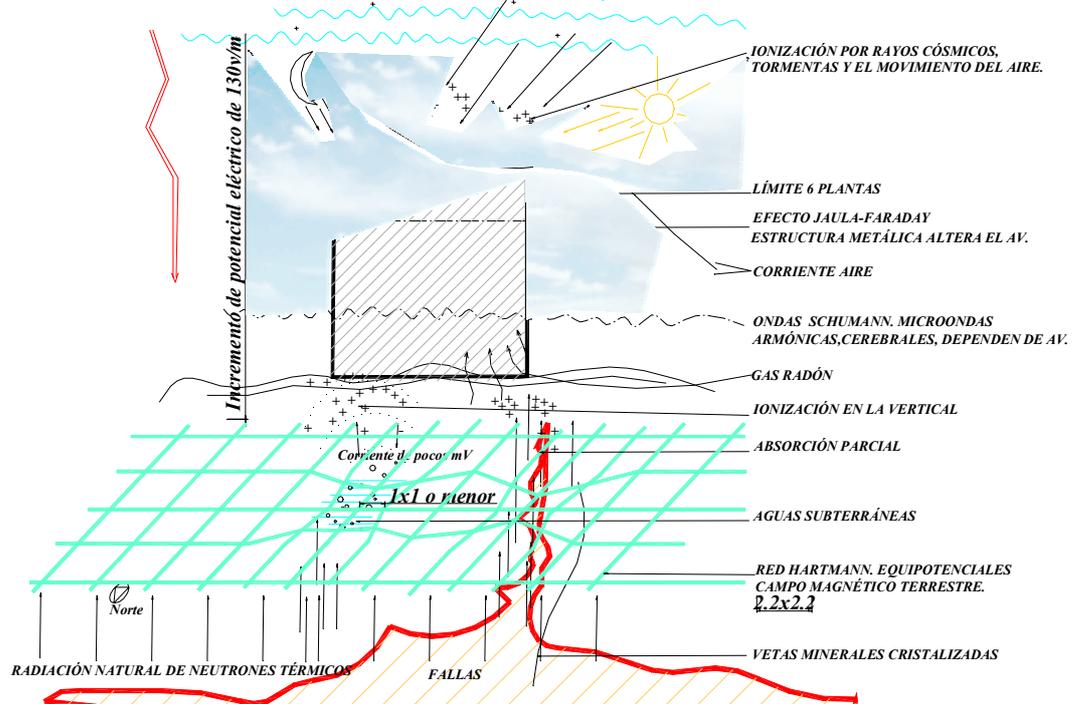


Fig. 5 Esquema de radiaciones que afectan al hábitat.

Generalmente, la salud se asocia al trabajo directo de médicos y enfermeras, a través de intensas campañas de vacunación y prevención, calmantes y antibióticos. La Medicina convencional a través de estas técnicas logra mitigar los efectos sintomáticos de las enfermedades, eliminar las bacterias y virus, y reparar la maquinaria corporal a través de la cirugía y trasplantes de gran sofisticación, pero en muchas ocasiones no se llega a ver la causa del problema, el porqué de que los mecanismos naturales de defensa del organismo fallen y sucumban ante cualquier elemento patógeno. Por ello insistimos en considerar al hábitat humano como un factor primordial para mejorar el nivel de salud y la calidad de vida, la cual durante mucho tiempo no se le han dedicado los conocimientos y esfuerzos suficientes para ello. Supone la consiguiente corresponsabilidad de nosotros, los arquitectos en la salud, y toda persona implicada en el mundo de la construcción y el urbanismo, como sociólogos, asistentes sociales, trabajadores familiares, logistas de ONG, educadores, a parte del habitual personal sanitario, sin omitir el papel básico del propio usuario.

Degradación Ambiental

El Desarrollo de la especie humana sobre el planeta va íntimamente ligada a los ecosistemas naturales a que pertenece, muy degradados desde la gran expansión industrial y demográfica de este último siglo. Durante este periodo, de forma inconsciente, la economía de frontera, bajo políticas económicas liberales, ha defendido tecnologías que requieren altos insumos de energía, fertilizantes y agua, con una elevada dependencia de los combustibles fósiles, del crecimiento poblacional y de la falta de control en los vertidos, para explotar los recursos naturales como si estos fueran ilimitados y autoregenerables, lo cual estamos comprobando hoy en día que no es cierto.

El ser humano como especie dominante del ecosistema planetario, ha llegado a afectar a este, de tal modo que aún todavía no tenemos suficientes datos como para evaluar su magnitud real y si este proceso de deterioro es irreversible. Evidentemente es responsabilidad del Norte ya que con un 25%⁴³ de población controla 4/5 partes de los ingresos mundiales, el 70% de la energía⁴³, y produce el 75% de la contaminación. Seis países con EE.UU. a la cabeza son responsables de la mitad de la contaminación atmosférica⁴⁴. Debe destacarse además, la enorme responsabilidad de las empresas transnacionales en el deterioro del medio, ya que controlan la cuarta parte de los activos productivos mundiales, el 70% del comercio internacional, el 80% de la tierra dedicada a cultivos de exportación, la mayor parte de las innovaciones tecnológicas, toda la producción de vehículos, casi la mitad de la producción petrolera, así como una parte significativa de la generación y uso de la electricidad.

Aspectos como **el cambio climático⁴⁵, el agujero de la capa de ozono, la pérdida de la biodiversidad⁴⁶, la contaminación ambiental⁴⁷, la desertificación⁴⁸ y la deforestación⁴⁹**,

⁴³ Ins. Mundial de los Comunes "Convención del marco general sobre el clima 1993" : los países industrializados recibieron de los países pobres un subsidio anual al consumo de energía equivalente a 3,4 billones de dólares.

⁴⁴ OECD. The Environment Industry. the Washington Meeting, Paris, 1987.

⁴⁵ Cumbre climática. Buenos Aires 1998

⁴⁶ Entre 1500 y 1850 desapareció una especie cada diez años; entre 1850 y 1950, una cada año. En 1990 desaparecían diez por día, cinco años más tarde entre 150 y 200 especies por día, y se calcula que para el año 2000 habrán desaparecido más del 20% de las especies. informe PNUMA.1995 En Catalunya están en peligro de extinción el 9% de los mamíferos, el 48% de los vertebrados, el 36% peces, 39% de los reptiles y el 16% de las aves. Dept. Medi Ambient 1997

- Normativa europea: Biodiversidad 92/43/EEC Refuerza la protección dada a los hábitats naturales, flora y fauna. Introduce nuevas categorías de conservación.

⁴⁷ A parte del tráfico transfronterizo incontrolado de desechos peligrosos, las catástrofes ambientales de mayor impacto ambiental fueron los accidentes nucleares de Three Miles Island, Pennsylvania, 1979 y en Chernobyl, Ucrania 1986, que contaminó 131.000Km² con niveles de radioactividad no aptos para la vida. Respecto al petróleo cabe considerar que cada año 18 millones de barriles de petróleo devastaron Siberia Oriental, destruyendo 55.000 Km² del frágil subsuelo periglaciario. En 1989 fueron arrojados a los océanos 1.4 millones, y el desastre del petrolero "Exxon Valdez" representó la marea negra mayor de la historia, sin olvidar las mareas provocadas por el "Mar Egeo". Galicia 1992, o por el "Braer" Escocia 1993. La Guerra del Golfo contaminó 700Km de línea costera y el hollín llegó a las nieves del Himalaya.

⁴⁸ La desertificación se origina por degradación química y erosión del suelo, provocado por la pérdida del manto vegetal de protección ante fuertes lluvias, escorrentías y vientos, siempre teniendo gran importancia las condiciones edafoclimáticas y la gestión de la tierra que se lleva. Así los suelos arcillosos en pendiente o los arenosos en zonas áridas, y los que quedan largos de periodo de tiempo sin cultivo, presentan graves riesgos de perder el suelo fértil. Otro factor básico es la quema de bosques, y sobretodo de los tropicales, ya que su potencia de suelo orgánico es baja, siendo muy erosionable. Así la situación actual conduce que el 12% de la superficie del Planeta pase a ser desiertos en 50 años. Las selvas tropicales retroceden un 50% más rápido de lo que hacían hace diez años. Fuente. Quaderns d'educació ambiental. UNESCO. Henri Noëll Le Houérou.

⁴⁹ Así nos estremecen las ya habituales catástrofes naturales como las de 1983, durante tres meses, un enorme incendio arrasó con 3.5 millones de hectáreas en Borneo (Kalimantan, en Indonesia). La superficie destruida por las llamas, equivalente a la superficie de la isla de Taiwán, incluía 800.000 hectáreas de bosque tropical primario y 1.4 millones de hectáreas de esencias comerciales. A esto debemos agregar 750.000 hectáreas de bosques secundarios de cultivo itinerante y 550.000 hectáreas de turba y pantanos. Y, sin embargo, en esta región son comunes las tormentas. El incendio fue provocado por el ser humano. En 1997, desde hace ya más de dos meses, con las mismas causas y los mismos efectos, el Kalimantan arde de nuevo. El humo afecta y contamina a todos los países vecinos llegando hasta Singapur. Mientras en el Amazonas en 1987 se quemaron 200.000 Km² y 250.000 en 1988, con una tala diaria de 250.000 árboles. Los bosques de Latinoamérica en Peligro. Aut. Miguel Angel Soto. Greenpeace IV 1998. En los últimos cinco años se ha perdido más de 10 millones de hectáreas en l'Amazonia, procesándose actualmente unos 30 millones de m³ de forma ilegal e insostenible, perdiéndose el 70% de la madera en la extracción. Las zonas actualmente castigadas son: jungla de Yungas (Chile-Argentina-Bolivia), pasillo ecológico entre dos parques nacionales- proyecto gaseoducto Belga- Estadounidense; Lengua (Chile) bosques de la tierra del fuego, talado de 140.000 hectáreas de bosque; valle del río Doce, Carajas (Brasil), la multinacional papelera Aracruz pretende un millón de Ha. de selva tropical en eucaliptos; Totonicapan (Guatemala).

el recrudescimiento de las catástrofes naturales⁵⁰, la alteración genética⁵¹, la contaminación del agua⁵² y del aire⁵³, son algunas de las consecuencias directas de nuestro desarrollo.

Así materiales para la construcción, como los hidrocarburos clorofluorados y halogenados HCFC, CFC⁵⁴, gases utilizados para la elaboración de aislantes térmicos como las espumas de poliuretano y de poliestireno extruído, en spray o inyección, o para sistemas de refrigeración y aire acondicionado⁵⁵, están provocando la destrucción del Ozono estratosférico O³, a través de los átomos de cloro de su descomposición. Aunque esté presente en pequeña cantidad respecto a otros gases, la capa de ozono ejerce una misión indispensable para el desarrollo de la vida en nuestro Planeta, el filtrado de los rayos ultravioletas, los cuales sino pueden actuar gravemente sobre la vista, la piel, incluso con acciones mutagénicas⁵⁶. El tema se convirtió en alarmante⁵⁷ cuando se detecto por científicos un agujero en la Antártica del tamaño de todo el continente, lo cual se ha hecho extensivo a 1.5%-3% del resto del planeta. Además, los CFC en la atmósfera forman anhídrido carbónico, que juntamente el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el vapor de agua, absorben las radiaciones solares infrarrojas, bloqueando su salida hacia el espacio reflejándolo hacia la tierra, este es el llamado efecto invernadero, por lo análogo con los invernaderos de vidrio. Esto causa que la temperatura terrestre aumente por encima de sus márgenes naturales de variación, así entre 1980-90 se ha vivido los ocho años más cálidos de todo el siglo. De hecho el clima varía de forma natural, aunque en periodos de miles de años estas variaciones son únicamente de un grado. Detallados análisis científicos han demostrado que la temperatura media global ha aumentado cerca de un grado en los últimos cien años. Si las emisiones de gases invernadero continúan incrementándose al ritmo actual, puede ocurrir que a mitades del

⁵⁰ WCED. *TEH WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, OUR COMMON FUTURE, OXFORD UNIV. N.Y. 1987. Se calcula que el 80% de los pobres de América Latina, el 60% de los de Asia y el 50% de los de Africa viven en áreas economicamente vulnerables. se calcula que podrían haber 14 millones de refugiados ambientales.*

⁵¹ Alimentos transgénicos. Aut. Ricardo Aguilar. Greenpeace IV 1998. *La transferencia de genes a otras especies está provocando la llamada contaminación genética, perdurable para varias generaciones. Los genes resistentes a los antibióticos, de ayuda a los ingenieros como marcadores, pueden transmitirse a los microorganismos del suelo y del intestino humano, lo cual es peligrosísimo en caso de transmitirse a las bacterias patógenas, tal como se afirma desde el Instituto Pasteur.*

⁵² El vertido a los ríos o al suelo de las sustancias tóxicas expuestas anteriormente, por la industria, las petroquímicas, la minería, los desechos domésticos y orgánicos (eutrofización del agua, faltando oxígeno, ya que los compuestos de nitrógeno y fósforo provocan el aumento desmesurado de algas y microorganismos), más los vertidos de petróleo, o de aguas calientes, provoca un grado preocupante para la obtención futura de agua potable y para la supervivencia de muchas especies. Sólo el 3% del agua es dulce y un 0.008% potable. Un sólo litro de gasolina puede llegar a contaminar 750.000 litros de ésta. La mayoría de ríos Latinoamericanos, o el 70% de la China, se encuentran contaminados, aunque este problema también es extensible a los países más industrializados, por ejemplo España donde sólo se depura un 20% de la aguas residuales.

La sesión especial número 19 de la ONU de junio de 1997 reveló que uno de cada cinco seres humanos no tiene acceso a agua potable y que la mitad de la mitad de la humanidad no cuenta con una red de purificación adecuada del agua. 1-Gestionar la oferta de agua en función de los recursos disponibles en la misma cuenca, y no por demanda.; 2 - Reducir el consumo tanto doméstico como industrial, el agrícola y ganadero; 3 - Frenar la proliferación de campos de golf; 4 - Evitar convertir los cauces en canales. 5 - Que las minicentrales eléctricas no alteren los caudales de los ríos; 6 - Eliminar las pérdidas de agua potable en su transporte; 7 - Desdoblar el uso potable de otros usos domésticos e industriales, como para permitir la utilización de aguas pluviales; 8 - Reducir la carga contaminante de las aguas residuales; 9 - Utilizar plantas depuradoras eficaces que generen pocos residuos; 10-Reducir el volumen y vertido de purines; 11- Definir las zonas sensibles a eutrofización. 12-Prohibir la extracción de áridos que afecten las cuencas o márgenes de ríos o ecosistemas acuáticos. Depana 1995

⁵³ Inversión térmica de la tierra. Se produce en las noches claras de invierno sin viento, por vientos cálidos en las capas altas, o por periodo anticiclónico, en que la tierra se ha enfriado notablemente quedando retenidos en esta bolsa de aire todos los contaminantes provenientes del tráfico, industria y calefacción. Además esto se puede agravar por los factores geográficos locales si impiden un movimiento adecuado del aire

Otro efecto es el smog fotoquímico producido por el NO₂ y los HC bajo los efectos de una fuerte radiación solar, que al reaccionar químicamente producen gases orgánicos y ozono, como ejemplo destaca la ciudad de los Angeles.

⁵⁴ - Regulaciones y directivas comunitarias: Contaminación del aire, retirar HCFCs y halones. 91/692/EEC93/5059/EEC. Reduce los niveles de emisiones permitidas en la atmósfera. Fomenta la combustión "limpia".

Actualmente son sustituidos en las neveras por mezclas de propano-butano, en los disolventes por aire-hielo o nitrógeno a presión, y en extractores y espumas por dióxido y monóxido de carbono, nitrógeno, argón, agua, pentano y aerogeles de silicón a aire.

⁵⁵ "Climate change and passive cooling in Europe". Aut. Susan Roaf, Philip Haves y John Orr. Univ. Oxford UK. Environmental Friendly Cities, proceedings of Plea '98, Lisboa, Portugal, Junio 1998. Pág. 463-466 Edit. James & James Science Publishers Ltd. 1998.

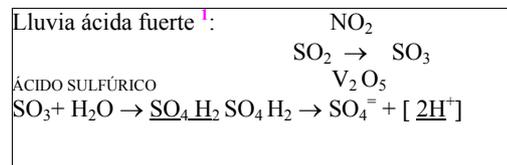
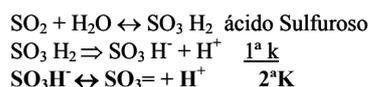
⁵⁶ Los gobiernos de Chile, Argentina y Nueva Zelanda ya están recomendando a la población no exponerse al sol o utilizar protecciones especiales.

⁵⁷ PNUMA. La Haya 1990

siglo que viene la temperatura aumente entre 1,5 y 4,5°C siendo la más elevada de los últimos 20.000 años. Tal aumento de energía provoca intrínsecamente un incremento considerable de la termodinámica atmosférica, repercutiendo en una mayor virulencia de los meteoros, el deshielo de los polos y el consiguiente aumento del nivel del mar entre 20 y 140cms⁵⁸. Se calcula que el CO₂ es responsable en un 50 % del efecto invernadero ya que cada año se lanzan a la atmósfera 20.000 millones de toneladas⁵⁹ que permanecerán en la atmósfera entre 50 y 200 años. Proviene en su mayoría de los hidrocarburos fósiles y de la biomasa, consumidas principalmente por la industria, el transporte y la vivienda. Destacando el hecho de que casi **“entre el 50% y 80% del total de la energía se mueve alrededor del sector de la construcción, desde la fabricación y transporte de materiales, a la ejecución y funcionamiento de los edificios”**⁶⁰.

El gas metano (CH₄) es el segundo gas invernadero, con una permanencia sólo de 10 años pero con una capacidad de absorción de calor de 20 a 30 veces superior al CO₂. El metano proviene en parte de las actividades energéticas derivadas del carbón, petróleo y gas, aunque la cría de ganado, la plantación de arroz, los vertederos (bacterias anaeróbicas) y la quema de leña contribuyen notablemente a las emisiones. Otro gas es el óxido de nitrógeno (NO₂), producido por la combustión de biomasa, los motores de explosión, los fertilizantes, y las erupciones volcánicas. El dióxido de azufre (SO₂), y los ya citados óxidos de nitrógeno, producidos por los combustibles fósiles en calefacción, vehículos, centrales térmicas, etc..., pasan a la atmósfera, y de esta a las partículas de agua provocando la “Lluvia Ácida”⁶¹. Este proceso llega a ser mucho más agresivo en la presencia de muy pequeñas cantidades de pentóxido de vanadio que actúan como catalizador o por la llamada catálisis homogénea del NO₂ que provocan que el SO₂ → SO₃, que combinado con el agua se convierte en ácido sulfúrico. Este efecto químico está destruyendo gran cantidad de zonas boscosas⁶², y creando numerosas patologías en los edificios⁶³, sobretodo en los países situados más al norte, debido a las direcciones que tienen los vientos predominantes y otros factores meteorológicos.

Lluvia ácida débil:



⁵⁸ Conferencia PNUMA/WMO. An assesment of de role of Carbon dioxide and other greenhouse gases in climatic variations, Ginebra 1985. Panel Intergubernamental para el cambio climático IPCC. 1991/1992. Otras consecuencias del cambio climático son la muerte de las áreas boscosas dela zona boreal, liberación de metano de la tundra ártica, huracanes y tempestades de mayor virulencia, sequías, inundación de áreas de cultivo,...

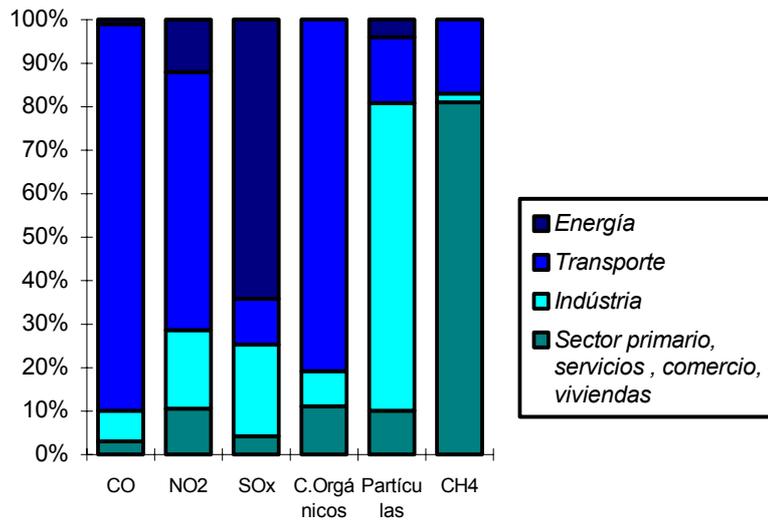
⁵⁹ 22 Tn/habitante año en E.E.U.U, 15 en Holanda, 12 en Alemania, mientras la media Mundial es de 4. Informe.PNUMA

⁶⁰ Construir edificis millors. L'estat del Mon. World Watch. Institut. 1995 Se evalua en un 36% la energía total consumida por las viviendas y su funcionamiento, y de un 40% para el transporte de materiales. Se compueba la existencia de un aumento del 2% anual desde 1971. El 94% viene de recursos no renovables. Según Institut Català de l'Energia. 1995. en Catalunya estas cifras són de un 20% en 1979 y ya de un 27% en 1995 (2650 Ktep= 1113x10³ MJoules) para uso doméstico y servicios, y de un 37% para transporte, del cual la mitad se evalua implica al sector de la construcción. Del consumo doméstico debido al aumento de vida a aumentado en 24 años de el 29% en calefacción a un 35%, un 34% cocción a un 20%, 16% ACS a un 15%, y un 21% en electricidad a un 30%. Así se deberán tomar medidas de eficiencia energética para compensar los dos tercios de la energía que se gasta en calefacción y aire acondicionado. Por cada Kw/h de menos evitamos la emisión de 1Kg. de CO₂. Representa que un habitante consume 110.000 Mjoules año (1989 /57.000MJ/año media nivel Mundial, y 295.000 en E.E.U.U, en contraste con los 30.000 de sudamérica y los 12.000 de África), habiendo considerado un 60% de perdidas en transformación energética. El centro de investigación francés CSTB estima que cada m² de vivienda es responsable de una media de emisión de 1.6 toneladas de CO₂ durante su vida útil.

⁶¹ También notan los efectos zonas de gran concentración industrial de Brasil, Nigeria, y la China, donde en esta el 75% de la energía proviene del carbón. datos Banco Mundial 1984

⁶² Además los contaminantes gaseosos penetran en los estomas de las plantas destruyendo la clorofila e interrumpiendo la fotosíntesis, afectando inicialmente a las hojas. Los líquenes son de las especies más sensibles. Europa ha perdido una quinta parte de sus bosques debido a esto, lo que representa un coste anual de 16.000 millones de dólares. Se emiten casi 170 millones de Tn/año de óxidos de nitrógeno y azufre a la atmósfera producidos por centrales térmicas, vehículos y calefacciones.

⁶³ Patologías en un edificio del Eixample de Barcelona. Dr. Ferran Gomà. Formación de sulfatos sódicos por el ataque de ácido sulfúrico sobre calcoarenitas del mioceno (contenido superficial de un 4% SO₃, interior del 0.15%), presencia de sales de Candlot, en zonas con desprendimientos, por reparaciones incorrectas con cemento portland.



La Problemática de los Residuos

La Construcción genera un enorme impacto ambiental,⁶⁴ y consume actualmente una cantidad muy importante de recursos naturales no renovables, como son el petróleo y el carbón, y utiliza el 60 % del total de materias primas, a lo que se suma el gran volumen de residuos que genera⁶⁵, directos e indirectos.

En el Dep. Medio Ambiente de la Generalitat de Catalunya, y desde hace más tiempo en países como Alemania, Holanda, Dinamarca y Bélgica, se ha visto la necesidad de iniciar acciones⁶⁶ a partir de la **Reducción, el Reciclaje y la Reutilización**⁶⁷ de los residuos. Estas consisten básicamente en crear vertederos controlados, recogida selectiva con una adecuada valorización, para evitar la problemática del vertido incontrolado de sustancias tóxicas al medio a través de lixiviación y de incineración tóxica⁶⁸. También consiste en no desperdiciar recursos en la ejecución de depósitos y tratamientos químicos de residuos peligrosos, o en no malgastar energía en la obtención de nuevas materias primas⁶⁹. Al mismo tiempo que se consiguen procesos industriales y tecnológicos más limpios.

Esto implica que en el momento de elegir un producto **se debería valorar las posibilidades de reutilización o reciclado que tiene, la recuperación del envase, el volumen de residuos que genera, la contaminación provocada en su producción, uso y vertido, y su grado de biodegradabilidad.**

Algunos **principios básicos de diseño**⁷⁰ que se deben aplicar a los proyectos arquitectónicos son:

- Incorporar en la fase de proyecto criterios funcionales y constructivos adecuados, para minimizar de forma significativa los residuos que se originan en la construcción.
- Reincorporar los residuos de excavación en la misma obra para reducirlos al máximo.
- Utilizar materiales y soluciones constructivas que originen pocos residuos, tanto en la fase de construcción como en la vida del edificio.
- No deben utilizarse aquellos productos que contengan materiales peligrosos, ya que serán considerados residuos industriales especiales: productos de soldadura; masillas para juntas a partir de betunes y amiantos; tóxicas oxidantes y creosotas; pinturas y barnices; accesorios y materiales sucios sin secar utilizados al pintar; diversos productos químicos como anticorrosivos, secantes, fungicidas, insecticidas, disolventes, diluyentes, ácidos, bases, abrasivos, detergentes; amianto; fibrocemento; barro originados en perforaciones; metales como cinc, plomo, estaño,

⁶⁴ - Regulaciones y directivas comunitarias: Valoración del impacto ambiental 85/337/EEC. Exige valoración de los impactos a base de una "declaración ambiental" formalizada, para los proyectos de construcción importantes.

⁶⁵ "Residuos de derribo" 275 Kgr/habitante año y 375 Kgr en el Área Metropolitana de Barcelona. Junta de Residuos. Generalitat de Catalunya. La media europea es de 350 Kgr/Hab. año frente a los 320Kgr/hab año en España.

⁶⁶ - Regulaciones y directivas comunitarias: Reciclaje 75/42/EEC91/156/EEC. Fomento de las medidas de reciclaje.

⁶⁷ *Decret 201/94*, regulador de los derribos y otros residuos de la construcción. Generalitat de Catalunya.

⁶⁸ Informe Técnico WWF Adena. Fondo Mundial para la Naturaleza, aut. Elena Granados Madrid 1996.

En el mundo se generan 4x10⁶ Tn/día (tamaño 100x100x200 mtrs) de residuos sólidos. En España (1kgr/persona día) se vierten sin control un 30% de los residuos sólidos urbanos y un 66% de los residuos industriales. El sistema de eliminación por incineración comporta que 10tn. de RSU producen 3tn. de residuos tóxicos y peligrosos (metales pesados, dioxinas, furanos, y otros compuestos). El Plan Nacional De Residuos Industriales Urbanos prevee tratar por incineración 30.000tn., 40.000 en plantas de tratamiento físico-químico y 80.000 por vertido en depósito de seguridad. En catalunya se generan 2.181.476 Tn de barro de depuradora, el 85% se devuelven al mar y un 7% se vierten en vertederos.

⁶⁹ Cada año se talan 20 millones de árboles para obtener celulosa para elaborar papel y cartón, 1Tn de papel=12árboles= 2400kgr, y se utilizan 3.000 millones de envases de vidrio, que por cada tn se ahorra 1.2Tn de materia prima y 130 Kg de Petróleo 8 Barcelona recogidas 1.305Tn 1990)

⁷⁰ Guía de Aplicación del Decreto 201/1994, regulador de los derribos y otros residuos de la construcción. ITEC y Junta de Residuos. Barcelona 1995.

romo, níquel; madera laminada-encolada o tratada a presión; productos hidrocarbonatados obtenidos del hollín, hidrocarburos.

-En la etapa de proyecto del edificio se debe programar todas las posibilidades de reciclado y reutilización para cuando se entre en la etapa de derribo.

Tienen cierto grado de reutilización: vigas, cerchas, prefabricados de hormigón, puertas, ventanas, revestimientos, tejas, claraboyas, chapas, tableros, placas sándwich, soleras prefabricadas, mamparas, tabiques móviles y barandillas.

Los grados de reciclabilidad que podemos encontrar son:

-Los escombros pétreos de derribos, que representan un 95% del peso total del edificio, son reciclables como material de subbase para obras viarias⁷¹ y los granulados para hacer nuevos hormigones⁷², en el caso del hormigón armado es necesario separar la armadura, lo cual es una operación compleja y cara⁷³.

- De la madera se pueden hacer vigas y cerchas, plafones de madera/cemento al desmenuzarla y mineralizarla, o laminarla para hacer pavimentos de parquet, siempre que no esté tratada a presión con productos tóxicos, y como último recurso valorizarla energéticamente incinerándola.

- El neopreno, el caucho, los materiales asfálticos y bituminosos se pueden reincorporar en masa para hacer pavimentos de viales.

- Los metales se han reciclado siempre, ya que su impacto ambiental y coste de fabricación es altísimo, su oxidación no impide el reciclaje. Los más comunes son: plomo, cobre, hierro, acero, fundición, cinc, aluminio, aleaciones.

- Los termoplásticos son los más fácilmente reciclables: poliestirenos (permite de nuevo hacer granulados, casetones, o paneles), polietilenos y polipropileno (las cargas y la baja calidad por degradación térmica o lumínica, no permiten reciclarlos para el mismo uso de tubería.) El PVC aunque es reciclable en un 20% para hacer tuberías, suelos, y cables, pero tiene un impacto ambiental tan alto que debe ir siendo apartado, como en el caso de los termos endurecidos son muy difíciles de reciclar: plásticos con resinas de poliéster, fenólicas, o de epoxi, los policarbonatos y los poliuretanos.

- El yeso en placas o paneles de escayola o cartón -yeso es reciclable al poderse volver a incorporar como materia prima, pero en el caso de revestimiento adherido a otras superficies es complejo y caro.

- Los aislamientos a partir de fibras minerales (lana de escorias y lana de roca), como más homogéneos, más fácilmente son reciclables por fusión, se desaconseja las láminas que llevan adheridas aluminio o otros materiales como cartón -yeso. Conllevan problemas de salud por las fibras y por los vapores de las resinas de urea-formol que se evaporan al fundir.

⁷¹ *Le béton cellulaire autoclavé. Paris. CSTB.1994 Los residuos de obra de fábrica de bloques de hormigón celular fabricados en autoclave (tipos Ytong, Cellucom...), tienen unas características de reciclaje parecidas a los residuos de obra. Es destacable que su calcinación a 800°, permite reemplazar parcialmente el cemento durante el proceso de fabricación con el reciclado, ya que mejora las resistencias a compresión. Existe la problemática de los residuos de yeso que complican su reciclado, ya que pueden formar sales de Candlot expansivas.*

⁷² *Fichas OCT.Programa Life. COAC. 1998 Es destacable la experiencia danesa, de recoger los residuos de la demolición de muros de fábrica, que permite una separación fácil del mortero de cal o cemento. Estos son utilizables nuevamente y los ladrillos se reciclan como granulados. El granulado procedente de residuos cerámicos si se quiere utilizar para hormigones no puede exceder de un 10% y la resistencia característica menor de 125Kg/cm2. A parte no pueden ser utilizados en ambientes agresivos (EH-91), y no pueden contener yeso de los revestimientos, lo cual es un grave problema para su reciclado. En Viladecans-Barcelona hay una planta de fabricación de bloques de hormigón con áridos reciclados, separando el yeso por un proceso costoso de cribado y lavado. El granulado procedente de residuos de cemento si se quiere utilizar para hormigones no puede exceder de una resistencia característica de 250Kg/cm2. A parte sólo pueden ser utilizados en ambientes I y II (EH-91).*

⁷³ *Les composites à matrice cimentaire CSTB.1994 No es recomendable el reciclaje de compuestos de fibras de vidrio o asbesto y cemento. Los presencia de polímeros en la masa de los residuos de fibra de vidrio, puede provocar problemas de durabilidad al reciclarlo en nuevas pastas o hormigones.*

- El vidrio es reciclable como materia prima, aunque se puede llegar a utilizar para otros usos como se fabrica mobiliario urbano en Catalunya. Dificultan notablemente el reciclado los residuos minerales que dan color, las vitrocerámicas y los vidrios compuestos.
- La pizarra es necesario reciclarla siempre, ya que su extracción tiene un alto impacto ambiental al representar que el 90% del material excavado en cantera es residuo. Las aplicaciones, algunas aún en estudio, son: como pizarras artificiales aglomeradas con resinas o cemento; como cargas en pinturas y revestimientos bituminosos; mezcladas con escorias de altos hornos para fabricar lanas minerales; la fabricación de piezas de hormigón celular; en hormigones premasados o como granulados ligeros.

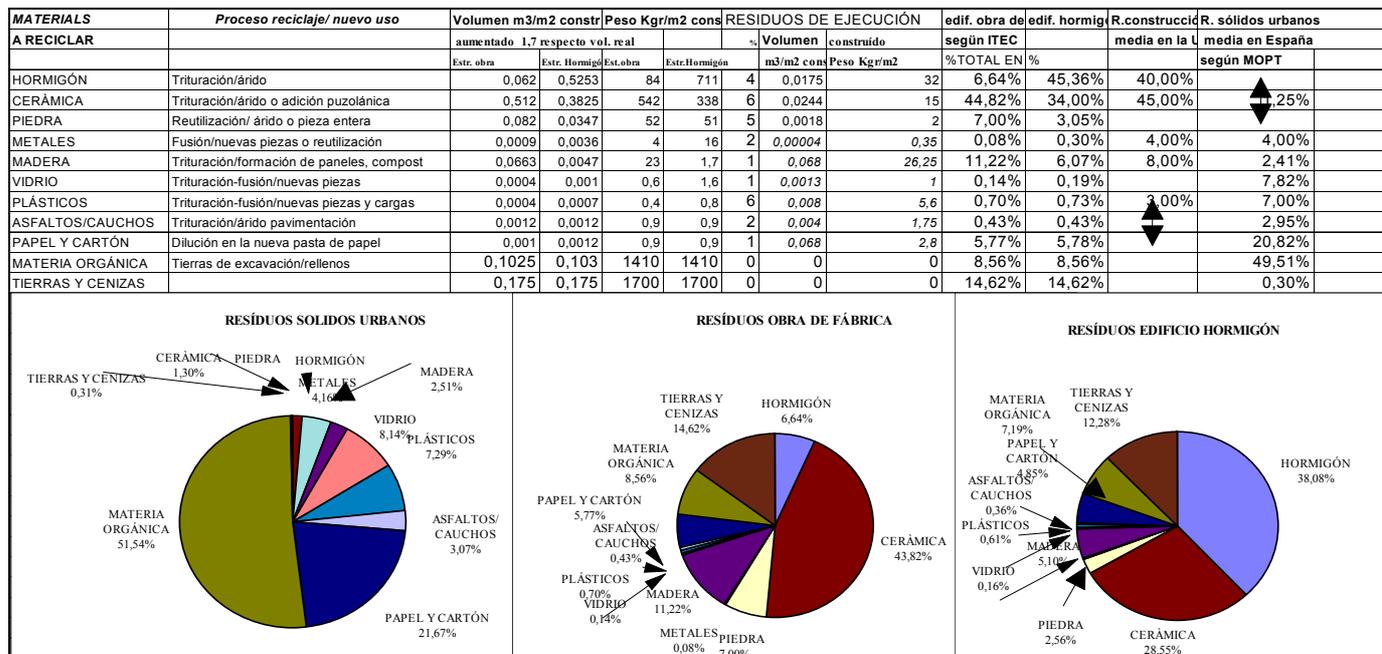


Fig. 6 Tabla de distribución y volumen de los residuos en la construcción y en las ciudades.

El Desarrollo Sostenible

Esta preocupante situación ambiental no se detuvo, a pesar de las tesis alarmantes de "Forrester y Meadows"⁷⁴, sobre los límites al crecimiento poblacional, la industrialización, la contaminación, la alimentación y el agotamiento de los recursos naturales, lo cual, advertía, que en 100 años provocaría un declive, súbito e incontrolable del desarrollo humano⁷⁵. Se propuso entonces un crecimiento cero para alcanzar un equilibrio global. Tampoco lograron adelantos o resultados prácticos, dignos de interés, los estudios e informes del PNUMA o la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente en Estocolmo (1972), a pesar de surgir las primeras estrategias de ecodesarrollo⁷⁶. No fue hasta que el informe **Brundtland**⁷⁷ definió:

⁷⁴ Los límites al crecimiento. Forrester y Meadows. 1976. Club de Roma

Factor 4. Informe del Club de Roma. Ulrich Weizsäcker, L.Hunter, Y.Amory, B.Lovins. Edit. Círculo de lectores.

⁷⁵ Los límites de la naturaleza. Aut. Lester. R.Brown. El estado del Mundo 1995. WorldWatch Institut. La producción por capita de alimentos, energía, vivienda y otros servicios se encuentra en un descenso del 0.3% /año. Los límites de crecimiento más inminentes vienen dados por la silvicultura, la pesca, los acuíferos y la ralentización en la producción mundial de cereales, debido a la cantidad de fertilizantes que de manera efectiva puedan absorber las variedades de cultivo existentes.

⁷⁶ Desarrollo sostenible: aut. Pich Madruga, C.I Economía Mundial. Revista Temas n° 9 1997. Cuba

El ecodesarrollo buscaba satisfacer las necesidades fundamentales de la mayoría de las poblaciones sin recursos, especialmente las del Sur, así como la adaptación de tecnologías y estilos de vida a las potencialidades y especificidades de cada ecozona, la valorización de

"El desarrollo sostenible es aquél que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades".

Este término estructuró, a partir de entonces, la **"Agenda 21"**, Plan de acción Mundial, fruto de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro en junio de 1992⁷⁸. Esta nueva estrategia globalizadora, aplicable desde todos los ámbitos⁷⁹, inclusive por la Arquitectura, como lo reconoce la **UIA 1996**, propone garantizar el equilibrio y evolución del desarrollo humano y de los ecosistemas naturales, base de la vida en la Tierra⁸⁰ por los principios de interdependencia y reciprocidad⁸¹.

Esta estrategia se basa en: reducir el actual ritmo de consumo de recursos materiales, tanto hídricos como energéticos para no superar la capacidad de auto regeneración, para ello es necesario incrementar la eficiencia tecnológica y energética⁸², y la durabilidad, reutilización y reciclado de los materiales; reduciendo el uso de combustibles fósiles⁸³; utilizando fuentes renovables de energía no polucionantes; reducir las emisiones contaminantes⁸⁴, poniendo especial atención al CO₂, manteniendo una calidad del aire, del agua y del suelo

los desechos y la explotación de los recursos renovables en el respeto del ciclo ecológico. Bajo este concepto, las necesidades fundamentales son: hábitat, agua potable, alimento, condiciones salubres e higiene, energía, educación, salud y participación en la toma de decisiones. Este concepto sólo tenía una influencia limitada por sus dificultades tanto económicas como políticas y sobre todo por la extensión de lógicas comerciales las cuales popularizan modos de consumo accesibles a las clases acomodadas, es decir a mil millones y medio de seres humanos de entre los más de cinco mil millones que habitan el planeta. Para los defensores del ecodesarrollo, como el economista francés Ignacy Sachs, era necesario reformar las políticas nacionales y reestructurar las relaciones económicas Norte-Sur. Además, insistieron, los estilos de vida y el desarrollo de los países industrializados tenían que cambiar para que se diera una armonización, en el largo plazo, entre los derechos de todos los países al desarrollo, a la protección y a la preservación del medio ambiente mundial. Esto generó controversias que rápidamente marginaron el ecodesarrollo. Olivier Godard, investigador francés del CNRS, recuerda que, bajo la presión americana, el PNUMA dejó de referirse al ecodesarrollo y que, a raíz de este abandono, se lanzó y floreció el término más consensual de desarrollo sostenible (Naturalezas, Ciencias, Sociedades, vol. 2, n° 4, 1994).

⁷⁷ Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo 1988. *PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente)*

⁷⁸ La institución de un "desarrollo económico sostenible" figura en el artículo tercero de la convención del marco general sobre cambio climático cuyo objetivo, recordémoslo, es la estabilización de las concentraciones atmosféricas de gases producto del efecto invernadero a un nivel que evitaría toda interferencia peligrosa con el sistema climático. Este desarrollo no sólo es un derecho de todas las naciones sino también un objetivo aconsejable a cada una de las partes firmantes. Entre los principios retenidos en el mismo artículo, se encuentra la adopción de medidas preventivas cuyo objetivo es anticipar, advertir o reducir las causas del cambio climático y atenuar los efectos negativos severos.

El tratado de la U.E de Maastricht, se refiere en su artículo 2, a la noción de un "**crecimiento duradero que respete el medio ambiente**" y, en otro artículo, al "**principio de precaución**" Así Introduce tres objetivos ambientales: preservar, proteger y mejorar la calidad ambiental, contribuir a la protección de la salud humana, asegurar un uso prudente y racional de los recursos naturales. Introduce tres principios ambientales: **prevenir es mejor que curar; el daño ambiental debería rectificarse en origen; el contaminador debería pagar.** - Regulación comunitarias:EEC/1836/93 Dirección ecológica. Introduce un esquema europeo para la formulación de sistemas de dirección ambiental.

⁸⁰ Un equipo de economistas dirigido por Robert Costanza, de la Universidad del Maryland, acaba de publicar, en la famosa y muy seria revista **Nature** (vol. 387, p.253-260, del 15 de mayo de 1997) una estimación, en **dólares**, "de los servicios que proporcionan los sistemas ecológicos y los valores de capital natural que los generan, los cuales son esenciales para el buen funcionamiento del sistema que mantiene la vida sobre la Tierra", ya que "contribuyen al bienestar directo e indirecto y son, por consiguiente, parte del valor económico total del planeta". La conclusión de estos trabajos eruditos: El valor (de la parte más grande fuera del mercado) de toda la biosfera se estima en 16-54 trillones de dólares, pero los autores están de acuerdo en que, debido al factor de incertidumbre, este valor es una evaluación mínima. Dentro de esta valoración cabe considerar los desastres que se derivan del cambio climático: Huracan Andrés. 1992 E.E.U.U 20.000 millones \$ o el Huracan Mitch 1998 Centroamérica 50.000 millones \$

⁸¹ Gaia / las Edades de Gaia Aut. James Lovelock. Barcelona. Edit.Tusquets.Mediatemas. 1993

⁸² El consumo energético de fabricación industrial decrece anualmente entre un 0.5 a un 2%, y sólo en el sector del acero y el hierro, que representan un tercio del total, puede llegarse a dividir por dos al canviar a tecnologías más eficientes como los hornos de arco eléctrico.En el sector servicios se produce anualmente una mejora del 2,5%, lo que ha representado que en 50 años se ha llegado a consumir un 20% menos en la construcción de una casa, o de un 40% para un automóvil, o que la eficiencia en iluminación es 100 veces mejor que a principios de siglo.

⁸³ "Eficiencia Energética". Cuadernos de educación ambiental. Unesco 1995. El 82% de toda la energía consumida en el Mundo proviene de la quema de combustibles fósiles, el 7.5% de la Biomasa (70% en África), el 5,5% de la energía hidráulica, y el 5% de la energía nuclear. El desequilibrio Norte-Sur es también patente respecto a la electricidad, ya que hay 2000 millones (40% de la población mundial)que no tienen acceso.

⁸⁴ *protocolo de Montreal*, pacto asignado por los principales productores de CFC y Halones, establece la progresiva eliminación de éstos para el año 2.000.

suficiente; manteniendo la diversidad biológica (biodiversidad); restableciendo la estabilidad climática; restaurando la cubierta boscosa de la Tierra, y estabilizar los suelos.

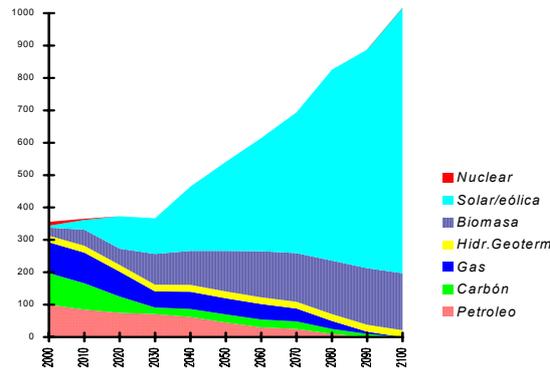


Fig. 7 Escenario Energético sostenible según Inst. Tellus/Medio Ambiente Estocolmo, encargado por Greenpeace, donde se observa la viabilidad de utilizar fuentes de energía renovables, para reducir las emisiones de CO₂. La Energía solar y el uso del hidrógeno podrán proporcionar el 60% en el 2030 y 80% de la energía hacia el año 2100, lo cual ira combinado con un aumento de la eficiencia energética en edificios, electrodomésticos, iluminación y producción industrial, y así la intensidad de uso energético descendería un 2.5% anual. Ello representa disminuir a la mitad las actuales emisiones de CO₂ en sólo 30 años a pesar de incrementar un 16% el consumo energético. Además, la naturaleza altamente contaminante del actual sistema energético refleja un gran desequilibrio. Una cuarta parte de la población mundial consume el 70% de la producción comercial de energía.

Estas consideraciones sobre la sostenibilidad nacen en los Países del Norte, en las zonas de mayor consumo y desarrollo tecnológico. Hace falta ver, ahora, que ocurre en los Países del Sur.

Un Desarrollo Sostenible Equitativo para el Sur

"No creemos en la posibilidad de obtener un desarrollo "sostenible" que, si bien respete los grandes equilibrios ecológicos, se haga a costa de la exclusión de una gran parte de la Humanidad".⁸⁵

Para la población residente en los países del Sur⁸⁶, resulta muy difícil pensar en la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones cuando los requerimientos básicos de salud, educación y bienestar social⁸⁷ del presente no están cubiertos.

"Sería injusto que las economías emergentes, que ya subvencionaron enormemente, durante la época colonial⁸⁸ a los países que se dicen ser del "Primer Mundo", deban ahora continuar

⁸⁵ La Plataforma São Paulo, para la Alianza para un Mundo responsable y solidario. Fundación Charles Leopold Meyer

⁸⁶ Cuba: política ambiental a tono con los nuevos tiempos aut. Teresita Borges y Cristóbal Díez CITMA. Rev. Temas n° 9 1997. También se ha cuestionado el énfasis que hace la tesis del desarrollo sostenible en la equidad intergeneracional, en detrimento de la equidad intrageneracional

"Proyecto de Ley de Medio Ambiente" La Habana 1997. Ésta establece las normas básicas de regulación para la gestión ambiental y de las acciones ciudadanas para conseguir el Desarrollo Sostenible del país. Trata de comercio y medio ambiente, de los recursos energéticos, los desastres naturales, agricultura sostenible, recursos paisajísticos, turismo sostenible, patrimonio cultural y otros factores sobre la calidad de vida. Nace como respuesta a la degradación ambiental: deterioro de los suelos (afecta a un 60% de la superficie la erosión, acidificación, salinidad, sodicidad, compactación); deterioro del hábitat y del saneamiento (hacinamiento, pobre confort bioclimático, falta de tratamiento de las aguas residuales, con la consiguiente contaminación del agua); deforestación (escasez de combustibles domésticos); pérdida de biodiversidad.

⁸⁷ Informe World Resources 1992-93

⁸⁸ Apartir del proceso colonizador al antojo de Occidente, se inició un proceso regresivo para todos los países y culturas sometidas y explotadas. Mientras unos cada vez aumentaban más su producto nacional bruto, la renta per cápita en los otros decrecía exponencialmente. Esto parecía que se detendría durante la mitad de siglo, pero estos países descolonizados de forma personal quedaron muy mermados para enfrentarse ellos solos de golpe a su grave situación y al nuevo orden económico mundial. Tal situación llevó a las excolonias a volver y crear lazos económicos de mercado (Commonwealth, comunidad de países francófonos,...) era el inicio de una política neocolonialista, y a veces que quería parecer solidaria en forma de ayudas, insuficientes para parar las diferencias entre los

subvencionando al mundo entero al sufragar la mayor parte de los costos de la protección del medio ambiente"⁸⁹.

Esto último lo provocarían soluciones inadecuadas como las limitaciones a la industrialización del Sur, las medidas económicas como “deuda por naturaleza”, la exportación desde el Norte de sustancias tóxicas, en cubiertas un 90% como materias primas o reciclables⁴³, el desmantelamiento precario de mercantes⁹⁰ o la transferencia de tecnologías ajenas a los intereses sociales de los países receptores. Evidentemente el modo de consumo del Norte no puede generalizarse a la humanidad en su totalidad, es necesario que se aplique el principio de "el que contamina paga", sancionando así estos altos niveles de consumo, para que exista una mayor equidad. Por esto hay que evitar la utilización de tecnologías occidentales en el Sur de forma indiscriminada. (El 90% de los materiales de construcción de África son importados de los países del Norte), como el bloque de cemento o las láminas de plancha galvanizada. De forma brusca la dignidad y la sobriedad de aquellas viviendas tradicionales de barro, troncos, y piedras se han visto desdibujadas en un montón de chatarra apilada envuelta de basuras de materiales sintéticos, en hábitat anticlimáticos y nula habitabilidad. Todo el proceso de influencias tecnológicas va en contra de sus propias raíces culturales y medios económicos, y cualquier posibilidad de auto progreso. Perdiéndose en el camino toda una herencia tecnológica y saber popular que se han transmitido de generación en generación. Es necesario el **desarrollo de tecnologías apropiadas**⁹¹ endógenas, ambientalmente idóneas, y de un **comercio internacional justo**, equilibrado⁹² y no discriminatorio, que consiga un nivel de producción, aunque no óptimo, que esté al menos dentro de la capacidad de carga sostenible.

Éstas tecnologías surgirán de acciones locales pensadas desde la globalidad, partiendo de los siguientes criterios básicos⁹³:

- Utilizar preferentemente materiales locales.
- Minimizar la complejidad tecnológica y la industrialización, para facilitar el mantenimiento y el desarrollo local.
- Contar con la mínima aportación de materiales importados, para ahorrar equipos y conocimientos técnicos externos, y promover la ocupación y capacitación local.
- Unir de nuevo saber tradicional, creatividad y conocimientos actuales para hacer que las soluciones sean apropiadas a cada situación y apropiables por las culturas autóctonas.

Dice el arquitecto mejicano **Luis Barragán**⁹⁴:

llamados Norte-Sur.No ha habido suficiente con préstamos, que provocan un crecimiento irretornable de la deuda externa, o el envío de los sobrantes o tantos por mil de los productos nacionales brutos de los países industrializados, sino la situación requiere de otras medidas más profundas.Evidentemente estas no pasan por los modelos de desarrollo de los países del " Norte", aunque son observados atentamente como referencia en su deseo de mejora.

⁸⁹ Discurso inaugural, profesor Kader Asmal, ministro surafricano de recursos hidráulicos 1er Encuentro de la Sociedad Mundial del Agua, Estocolmo, 9 de agosto de 1996.

"los procesos de crecimiento que benefician a las minorías más prosperas y mantienen o aumentan las disparidades entre países, no puede considerarse desarrollo. Es explotación. Declaración del seminario internacional de Cocoyoc. " Hacia una sociedad ambiental. Aut.Augusto Angel.Edit.El Labrador. Bogotá 1989.Fund.Medio Ambiente y desarrollo alternativo.

⁹⁰ Chatarra tóxica, Aut. Juan López de Uralde. Greenpeace IV 1998. La mitad de los barcos del mundo terminan desmantelándose en Alang,India por 40.000 trabajadores desprovistos de guantes, mascarillas, protecciones y sistemas adecuados para retirar y tratar los residuos tóxicos como el amianto azul, el PCB de los cables, plomo, arsénico, tributyltin TBT y el cadmio de las pinturas. Otro tanto ocurre en Bangladesh, Pakistan, Filipinas y Vietnam.

⁹¹ "Nueva arquitectura en América Latina".Por una arquitectura apropiada y apropiable Aut.CarlosGonzález Lobos.Edit.GG.1990

⁹² *Converses Transversals.Aproximación a la investigación, a la economía y a la política bioambiental.Aut. Xavier Arnella. Edit.Beta Barcelona 1997*

⁹³ *Técnicas y tecnologías apropiadas a los pueblos del Tercer Mundo. Aut. Pablo Moragas. Ing. Informes. Mon3.*

⁹⁴ *Luis Barragán, Obra construida 1902-1988. Aut.José Álvarez. Edit.Junta Andalucía. 1989*

" Deberíamos tratar de conseguir, con la arquitectura moderna, la misma atracción que existe en las superficies, espacios y volúmenes de la arquitectura precolombina, colonial y popular, con una expresión contemporánea".

Asímismo dice **Antonio Toca**⁹¹, junto otros arquitectos latinoamericanos, como **Eladio Dieste** con su iglesia de S.Pedro en Durazno, o **Rodrigo Uribe** con su edificio de Cali en Colombia :

"..destrucción de la ciudad por parte de la arquitectura moderna...tecnología sofisticada para poder controlar artificialmente, la iluminación, ventilación, y climatización, nada relacionados con las regiones donde se ubicaron".

" Mies Van der Rohe, llevó a sus modelos a tal nivel de abstracción que perdió su capacidad de relacionarse con la gente ".

" preservar la identidad propia es una auténtica lucha".

" además de ser habitable..lograron también su identificación con las características con la gente y la cultura del lugar."

Cristian Fernández Cox valora para Santiago de Chile las fachadas continuas y modestas, con color y ornamentaciones espontáneas, con una utilización máxima de muros para resistir a los terremotos, creando un espacio público que defienda a la vez la privacidad. Rehusa totalmente los muros cortina, las fachadas espejo o toda tecnología foránea del país de costos altos, que provoca un endeudamiento mayor del país.

" Originalidad es volver a los orígenes, de modo que original lo es aquel que con nuevos medios vuelve a la simplicidad de las primeras soluciones "

(Antoni Gaudí)

La Sostenibilidad del Desarrollo de la Arquitectura

De este modo los Arquitectos deben replantearse la forma de concebir las construcciones⁹⁵, hoy en día intensivas en consumo de materiales y energía⁹⁶, sin quedarse encasillados en parámetros estéticos banales e insostenibles. Como hemos visto la construcción tiene un enorme peso específico en el desarrollo humano, por tanto es indiscutible que debe también tomar el camino de la sostenibilidad y de las tecnologías apropiadas⁹⁷.

⁹⁵ Richard Rogers o Renzo Piano plantearon en el Congreso de la UIA Estambul nuevas alternativas desde una mentalidad de construcción ecológica.

⁹⁶ La Construcció vol consciència ecològica. Jornades Internacionals: Construcció i desenvolupament sostenible. Mayo 1996. COA Tècnics de Barcelona. Aut. Bernat Ochoa. Presidente, Josep Puig. Regidor Ayuntamiento Barcelona y ponente Ciudad Sostenible.

⁹⁷ Regulaciones y directivas comunitarias: Productos construcción 89/106/EEC ver también 93/5068EEC. Normaliza las propiedades de los productos de edificación. Introduce seis requerimientos esenciales. Incluyendo:- seguridad en el uso- salud ambiental- conservación de la energía Regulaciones 3332/88/EEC 594/91/EEC 3952/92/EEC. Etiquetaje ecológico 94/2/EEC y Regulación EEC/880/92. Introduce un esquema europeo para el etiquetaje ecológico. Más adelante suministrará información sobre energía incorporada y coste ambiental de los materiales.

-Salud y seguridad 76/579/EEC 79/343/EEC 79/640/EEC 83/477/EEC 86/188/EEC 87/217/EEC 91/382/EEC. Formaliza las necesidades de seguridad y las responsabilidades en el lugar de las construcciones. Mejora el ambiente de los lugares internos de trabajo. Reduce los efectos adversos de las máquinas de oficina. Establece los límites de exposición a condiciones peligrosas.

“Las alternativas no pueden ser únicas, las circunstancias de los diversos lugares del Mundo exigirán planteamientos muy variables desde la recuperación de la tradición local a la incorporación de tecnologías punta que contribuyan a conseguir los parámetros medioambientales idóneos.

Hace falta pensar y programar el crecimiento de las ciudades del siglo XXI teniendo presente la doble percepción local y planetaria. Y desde nuestra tarea diaria, los Arquitectos y los técnicos podemos contribuir con la incorporación y difusión de una mentalidad de construcción más ecológica. Parece que será clave el respecto al medio ambiente, y la solidaridad internacional. Renunciar a una parte de nuestro bienestar y adquiriendo una visión más global”⁹⁸

Las declaraciones de Amsterdam de 1993 y la “Carta de las ciudades europeas hacia la sostenibilidad” Aalborg Dinamarca 1994⁹⁹ marcan las directrices para campañas como “Ciudades para la protección del clima”, adaptación a nivel local de la agenda 21. La ciudad de Barcelona participa con el siguiente Plan Municipal de acción, ejemplo de las directrices que marcaran la sostenibilidad de una gran urbe:

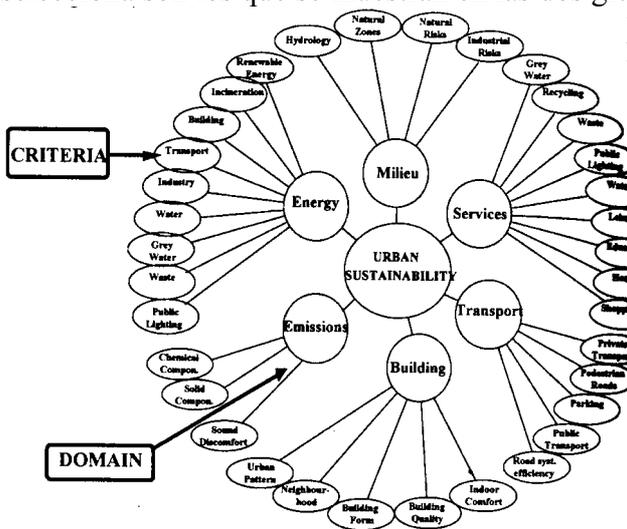
- Elaboración de un Plan energético local, que incluya los flujos en la ciudad.
 - Impulsar programas de eficiencia energética, desarrollo y difusión de energías renovables a través de : bonificaciones fiscales; ahorro en la iluminación viaria, uso de bombillas de bajo consumo; cogeneración de calor y electricidad; la introducción de energía solar en las escuelas, instalaciones deportivas, mercados municipales; y ejecutar auditorías energéticas en todos los edificios públicos.
 - Inicio de experiencias piloto en construcciones eficientes y con nuevas tecnologías.
 - Impulsar el aprovechamiento de las aguas subterráneas y ahorro en el riego.
 - Reducir desde el origen la generación de residuos e impulsando su selección, reciclaje y reintegración en el ciclo productivo.
 - Mejorar la calidad de la atmósfera, del agua y del ruido (actualizar censo industrial, mapas de emisiones contaminantes y de ruidos, uso de pavimentación anti-ruido).
 - Reducción de las emisiones de CO₂ del 20% en 10 años para los edificios municipales.
 - Mejora del litoral y sus aguas.
 - Potenciar las áreas verdes, garantizando la diversidad y plantación de especies autóctonas (reforestación de Collserola con 180.000 árboles).
-
- Promover la inversión municipal y de otros agentes en parques eólicos.
 - Aprovechamiento de la biomasa.
 - Mejora de la educación y cultura medioambiental de los ciudadanos. La educación ambiental tiene que estar encaminada hacia la formación de aptitudes y comportamiento de respeto y mejora del medio. Dirigiéndolo al conjunto de la población además de la escolar y se impartirá conjuntamente con la educación social en un enfoque interdisciplinario en

⁹⁸ *Habitat II: Una reflexión necesaria. Aut. X.Casanovas. COAT de Barcelona 1996.*

⁹⁹ *La declaración por consenso establece: invertir en la conservación, crecimiento y reducción de la explotación del capital natural existente; incrementar la eficiencia final de los productos; justicia social integrando las necesidades sociales básicas de la población, como también los programas de sanidad, ocupación y vivienda con la protección del medio ambiente; equilibrar los flujos campo ciudad; proporcionar servicios públicos de transporte, reducir la movilidad forzada y el uso innecesario de vehículos motorizados, reducción de las emisiones de combustibles fósiles y proteger los recursos de biomasa, como los bosques o fitoplacton, con un papel fundamental en el ciclo del carbono; frenar la contaminación para que no se supere la capacidad natural del aire, del agua y del suelo para absorberlos y procesarlos; autogestión de ámbito local con representantes democráticos y sistemas de consulta y participación popular*

relación a los seres humanos y la naturaleza. Permitir que la población llegue a entender la globalidad de los problemas medioambientales fuera del ámbito concreto en que se producen. Tanto por sus repercusiones inmediatas como por el efecto sumatorio o multiplicador que tienen los diferentes problemas medioambientales. así esta mentalización se resume en estas palabras: **“actuar localmente, pensar globalmente”**

Como precedentes de sistematización de éste diseño sostenible podemos encontrar el trabajo realizado por Luc Adolphe¹⁰⁰ sobre el ZEIS, “Zero Emission Information System”, pensado para la planificación urbana. Los dominios e indicadores de sostenibilidad que selecciona son los que se muestran en las dos gráficas adjuntas.



Domain	Criteria	Indicator		Unit
		O. Objective	S. Subjective	
ENERGY	Energy production of renewable energies	O. Percentage of renewable energy / total consumption		%
	Energy production by incineration	O. Total energy produced by incineration per inhabitant		kWh/year.hab
	Energy consumption per inhabitant	O. Energy consumption		GJ/hab
	Percentage of energy consumption by source	O. Percentage of Solid Fuel+Petrol energy consumption		%
	Energy consumption for building sector	O. Energy within buildings per inhabitant		kWh/year.Hab
	Energy consumption for transportation sector	O. Energy for transport per inhabitant		kWh/year.Hab
	Energy for water distribution	O. Energy for water distribution per inhabitant and year		kWh/year.Hab
	Energy for public lighting	O. Energy for public lighting per inhabitant and year		kWh/year.Hab
	Energy for valorization of waste	O. Energy for waste treatment		kWh/year.Hab
	Energy consumption for waste water treatment	O. Mean percentage of valorization of waste		%
		O. Energy for grey water treatment		kWh/ 10 ³ m ³
		O. Mean annual emission of Pb particles		microg/m ³
		S. Percentage of population dissatisfied by pollution		%
EMISSIONS	Dust concentration	O. NO2 emission rate (Percent 98)		microg/m ³
	Estimatec pollution	O. O3 emission rate (Nbr days with mean conc. > 65		µ
	Concentration of chemical components	O. Annual number noise complaints per 10000 inhabitants		Nbr/10 ⁴ hab.
	Concentration of chemical components	S. Percentage of population dissatisfied by disturbing noise		%
	Urban noise	O. Water consumption		m ³ / Hab.year
	Perception of Urban noise	O. Losses of water distribution		%
FACILITIES	Quality of water distribution network	O. Number of public lighting points per roadway length		Nbr/km
	Efficiency of public lighting	O. Domestic waste production		kg/hab
	Waste production	O. Incineration capacity of domestic waste		kg/hour.
		O. Number of recuperation points for 10000 inhabitants		Nbr/10 ⁴ hab.
	Quality of recycling	O. Mean distance to recuperation center		km
		S. Percentage of population recycling		%
				%
				%

¹⁰⁰ “ A design Tool for global evaluation of urban sustainability” Aut. Luc Adolphe. Ecole d’Architecture de Toulouse GRECO. Environmental Friendly Cities, proceedings of Plea’98, Lisboa, Portugal, Junio 1998. Pág. 67-70 Edit. James & James Science Publishers Ltd. 1998.

Objetivos de la Tesis

El objeto de la presente Tesis es el de establecer y dar una **“Nueva Metodología para Construir con Tierra Estabilizada, con resistencias y durabilidad óptimas, para permitir el Desarrollo de una Arquitectura Sostenible en el Siglo XXI”**.

Para ello se pretende, en primer lugar, definir el Diseño Ecobioconstructivo Sostenible ¹⁰¹ que hace posible esta tendencia de la Arquitectura. En segundo lugar, dar un nuevo método Científico-Técnico para lograr una construcción optimizada al máximo, en cualquier caso y lugar de situación.

Se analizan los antecedentes históricos, en los que se tiene en cuenta su aportación técnica para hacer su correspondiente discusión y análisis crítico. Finalmente se dan las conclusiones a que llega, de las que se destaca la Sistematización e Industrialización del BTC como opción preferente (Bloque de Tierra Estabilizada y Comprimida).

Para la consecución de este objetivo es necesario seleccionar y aportar los conocimientos básicos sobre arcillas y otros aglomerantes que deberán manejar con facilidad los Arquitectos y técnicos que trabajen con tierra estabilizada y quieran obtener altas prestaciones de resistencia y durabilidad. A la vez se muestra todo el proceso de investigación y deducción que ha sido utilizado para elaborar éste método básico de trabajo.

La síntesis, permite dar tablas de diseño práctico y un método de trabajo, con pautas que van desde los factores sismorresistentes, a los coeficientes de seguridad y a los controles de calidad.

¹⁰¹ "Ancient solutions for future sustainability, building with adobe, rammed earth and mud". Aut. M.Moquin. Adobe journal. Issue 10'30/35.

Crítica de los antecedentes

A partir de la exposición de estos Antecedentes históricos, tecnológicos y científicos, se puede entender la Construcción con Tierra como “Nueva Tecnología emergente”, en un nuevo Panorama de Desarrollo Sostenible.

Así como tal, es comprensible que se haya encuadrado como técnica poco desarrollada, tal como se ha visto en el capítulo en comparación a otras tecnologías tan comunes como la del hormigón armado.

Desde el abandono de su utilización en la época de la Revolución Industrial y de su consecuente crecimiento urbano ^{¡Error! Marcador no definido.}, como tecnología constructiva no se había beneficiado de ningún avance científico. Pero a partir de la crisis energética de los setenta y la extensión del uso de la bioclimática, hizo que se recuperara la construcción con adobe.

En ese momento en EE.UU. y en la Universidad de Grenoble, se hicieron las primeras aportaciones para el mejoramiento de esta técnica (ver.cap ^{¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.} ^{¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.} pág. ^{¡Error! Marcador no definido.}).

Además, fue decisiva la utilización de todos los conocimientos que la Geotécnica y la Ingeniería de caminos venían, ya utilizando, desde los años cincuenta para el estudio y estabilización de suelos. Estas técnicas desarrollaron el ámbito del suelo-cemento, lo cual ha facilitado la obtención de los conocimientos básicos sobre el comportamiento físico-químico de las arcillas en unión con el cemento, tal como se ha expuesto en el capítulo ^{¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.} pág. ^{¡Error! Marcador no definido.}

*Por ello el término empleado para referirse al material base, puede en algunos momentos carecer de claridad, dándose cierta ambigüedad en el uso de los términos “suelo”, “tierra”, “barro”, “arcilla”. A partir de este momento definimos el material base, referenciado en la tesis y usado para la ejecución de las diferentes tecnologías expuestas en el capítulo ^{¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.} pág. ^{¡Error! Marcador no definido.}, como :
“Tierra Estabilizable para Construcción Arquitectónica”*

La necesidad de Conservación de los monumentos y construcciones históricas construidas en tierra, han aportado otro conocimiento científico del material, en lo cual instituciones como el ICCROM o la Fundación Paul Getty (cap. ^{¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.} pág. ^{¡Error! Marcador no definido.}) han contribuido notablemente.

A pesar de ello todos estos proyectos, estudios científicos, normas y ensayos expuestos en los Antecedentes, muestran la aplicación de la tecnología de la Tierra de una manera parcial, y con poco rigor respecto al empleado actualmente en otros materiales y en otros procesos constructivos .

En parte, esto es provocado por su aplicación con carácter de urgencia en países del sur con pocos recursos, o bien por la aplicación como “Alternativa” a partir de su utilización de manera tradicional.

A continuación se exponen los principales puntos que en esta tesis se exponen, que son mejorables para poner a esta ancestral forma de construir, a la altura de las nuevas tecnologías, para facilitar y normalizar su uso a los arquitectos y constructores en la ejecución de proyectos de menor coste medioambiental y económico.

Los parámetros que denotan la falta de método científico-técnico para la obtención de una Construcción de Tierra de calidad son :

- Inexistencia de un método identificativo de los tipos de tierras.**
- Insuficiencia del ensayo Proctor.**
- Insuficiencia del ensayo Granulométrico, y su contradicción con la gráfica de Plasticidad.**
- Falta de correspondencia entre los estudios de laboratorio y las estabilizaciones adoptadas.**
- Falta de método integral y consensuado para la obtención de los componentes químicos de la Tierra.**
- Inexistencia de estudios integrales de durabilidad.**
- Falta de correspondencia entre la analítica tecnológica del proceso de puesta en obra y los parámetros arquitectónicos del proyecto.**
- Inexistencia de la utilización de pautas de diseño sostenible.**

Inexistencia de un método identificativo de los tipos de “ Tierra Estabilizable para Construcción Arquitectónica”

Antiguamente el conocimiento del proceso de trabajo con los materiales locales tradicionales era algo que se transmitía oralmente, de forma intergeneracional, y que sobretodo se aprendía de una manera práctica al trabajar en obra. Durante miles de años esta forma de operar ha sido suficiente para solucionar las necesidades edificatorias, por lo cual no ha requerido de normas o de controles de calidad. Esta situación aún se da en todas las áreas donde perduran las tradiciones locales constructivas. Pero en el momento que se pretende construir en nuevas zonas, con el consiguiente uso de nuevos tipos de tierra, o bien si se utiliza la propia extraída de la cimentación y excavación, y se incorporan nuevos sistemas de estabilización, es indispensable conocer a fondo la materia que se utiliza.

Es fundamental conocer la composición de “ la tierra” ante la amplísima diversidad de tipos que ofrece este material constructivo, tal como se ha estudiado en el [capítulo ;Error! No se encuentra el origen de la referencia. pág. ;Error! Marcador no definido.](#) sobre tipos de suelos y arcillas [pág. ;Error! Marcador no definido.](#)

Los sistemas identificativos y de clasificación de suelos que se utilizan actualmente, se deben a la Ingeniería y no se orientan hacia una Arquitectura construida en tierra. Se basan, mayoritariamente, en el estudio granulométrico de los suelos, siendo clasificados según la distribución y tamaño de los diversos granos que componen el material.

Uno de los métodos de clasificación es el Triángulo de Fêret, ver [;Error! No se encuentra el origen de la referencia. pág. ;Error! Marcador no definido.](#), analíticamente bastante simplista, ya que lo reduce todo a tres categorías con sus posibles combinaciones, en función del tamaño, las cuales los define como “ suelos arcillosos, limosos y arenosos”. Éste se basa totalmente en la granulometría, lo cual, según veremos a continuación, omite las propiedades derivadas de la forma de los áridos; omite la estructura mineralógica de las arcillas y limos, y las propiedades que de ello se derivan como plasticidad, densidad, e índice de poros, que son fundamentales para el proceso de estabilización de las tierras para construcción.

Por éste motivo, puede verse al sistema de clasificación de los suelos de Casagrande, ver tabla [pág. ;Error! Marcador no definido.-;Error! Marcador no definido.](#), El cual incorpora la variable de plasticidad, como un avance importante para poder relacionar la clasificación de los suelos con sus propiedades. Así basada en ésta, se establece la clasificación geotécnica P-CH y USCS ¹⁰² que también tiene en cuenta el índice de plasticidad (IP %) y el límite líquido (LL%), en el apartado de los suelos arcillosos y limosos.

Pero hasta que no llegamos a la más reciente norma [ASTM D 2487-85 pág Y “Clasification of soils for engineering purposes” pág. ;Error! Marcador no definido.](#), no podemos disponer de un método más completo al interrelacionar el límite líquido, el índice de plasticidad y la granulometría de una forma más extensa.

Establece dos grandes grupos basados en el límite líquido $LL > 50$ o $LL < 50$, dentro de los cuales clasifica en función del IP (índice de plasticidad). Para la $LL < 50$: si el $IP > 7 \rightarrow CL$; si $4 < IP < 7 \rightarrow CL-ML$; $IP > 4 \rightarrow ML$. Y para la $LL > 50$: IP sobre la línea A $\rightarrow CH$; IP bajo la línea A $\rightarrow MH$.

Aún y así no es suficiente para conocer con exactitud que comportamiento químico que se puede tener en el proceso de compactación y endurecimiento de la tierra estabilizada. En el Manual de Construcción con Tapial del Ministerio de Obras públicas español [;Error! Marcador no definido.](#), sólo se establecen unos criterios de campo para clasificar las tierras y

¹⁰² Manual de laboratorio CRA Terre. Ecole de Architecture de Grenoble. Grenoble 1992.

elegir el estabilizante adecuado. Éstos resultan insuficientes para la obtención de un material de calidad, ya que sólo hacen referencia al comportamiento mecánico de “bolas” “rollitos” como denomina la citada norma (según ensayos), acotado por dos o tres grados, según el tipo de ensayo (ver tabla inferior). Además, se omiten datos mecánicos de importancia como puede ser la capilaridad, la retracción o la expansividad. Se omite cualquier consideración sobre el tipo de arcillas presentes, y establecen criterios de estabilización sin tener presente su composición química y la posible generación de patologías, sobretodo por el empleo del cemento Portland.

TABLA DE IDENTIFICACION DE SUELOS PARA PAREDES DE TIERRA

Clasificación del suelo completo por separación sedimentación o tamización			Resultados de los ensayos realizados sobre finos						
I CLASIFICACION VISUAL	TIPO	MEZCLA	II CLASIFICACION SEDIMENTACION	III PALMETEO	IV RESISTENCIA	V CINTA	VI, ROLLITO	VII, LAVADO	CODIG SUELO
ARCILLAS Y LIMOS (El montón de limo y arcilla mayor que los de arena y grava juntos)	ARCILLAS	GRASAS NORMALES	C C	3	3-4	2	3	1	I
		LIMOS ARENAS GRAVAS	C+M C+S C+G	2-3	2-3	1-2	2	1	II
	LIMOS	ORGANICAS ORGANICOS PUROS	Co, Mo M	1-3	0-3	0-1	1-2	0-1	III
		ARCILLAS	M+C						
ARENAS O GRAVAS (El montón de arena mayor que el de grava o viceversa)	ARENAS	MUY FINAS FINAS	S _m f S _f +C S _f +M	0-1	0-1	0-1	0-1	0	V
		ARCILLAS LIMOS	S+C G+C G+S+C	1-2	2	1-2	2	1	VI
	ARENAS O GRAVAS	LIMOS	S+M G+M G+S+M, S G,	0	0-1	0	0	0	VII
		PURAS				No precisan de estos ensayos			VIII

TABLA DE VALORACION Y CLASIFICACION DE LOS SUELOS				TABLA PARA LA ELECCION DE ESTABILIZANTES			
CODIGO DE SUELO	VALORACION DEL SUELO	UTILIZACION POSIBLE	POSIBLES ESTABILIZANTES	Estabilizante	Tipo de suelo necesario	Consecuencia principal	Uso para:
I	0	No sirve para pared de tierra.		Cemento Portland	Arenoso wp entre 5 y 20	Gran incremento de las resistencias húmeda y seca. No disminuye absorción. Disminuye retracción.	1-Tapial 2-Bloque comprimido
II	3	Normalmente requiere estabilización Utilizable en: Tapial bloques comprimidos	Cal, grava o arena	Cal	Arcilloso wp > 15	Incremento de resistencias húmeda y seca. No disminuye absorción.	1-Adobe 2-Bloque comprimido 3-Tapial
III	0	No sirve para pared de tierra.		Cemento+ Cal 1:1	Arcilloso wp > 15	Incremento de resistencias húmeda y seca. No disminuye absorción.	1-Adobe 2-Bloque comprimido 3-Tapial
IV	1	Sólo debe emplearse en caso de necesidad y muy mezclado	Cemento Portland Emulsiones asfálticas si el suelo no es pegajoso	Emulsión asfáltica	Arenoso wp < 13	Incremento de resistencia húmeda y disminución de resistencia seca. Disminución absorción.	1-Adobe (2-Bloque comprimido) (3-Tapial)
V,4		Utilizable en todo de construcciones dta. En el caso del adobe requiere estabilización	1- Cemento Portland 2- Emulsiones asfálticas y productos hidrofugos				
VI	5	Muy utilizable para tipo de construcción tierra	1- Cal 2- Cemento si el suelo se mezcla con facilidad				
VII	3	Puede utilizarse estabiliza. Puede requerir friccional es	1- Cemento Portland 2- Emulsiones asfálticas y productos hidrofugos				
VIII	2	No sirve, a no ser se le agregue los finos necesarios	Finos arcillosos y cal o cemento, lo que les convierte en homigeno				

La **UNE 24 013**, clasifica los suelos por el criterio de resistencias mecánicas de los propios suelos “in situ”, según las experiencias de Paus Schinger. Éste tiene un interés más bien geológico, con referencia al estudio de la génesis del suelo, que no para su utilización práctica en construcción.

Por otra parte las clasificaciones edafológicas, no responden a los parámetros que

interesan a la construcción, aunque nos pueden dar referencia de que Óxidos, hidróxidos, materia orgánica o arcillas podemos encontrar.

Por tanto, es indispensable establecer un sistema de clasificación de trabajo más integral que relacione la mecánica de suelos y la físico-química de las arcillas.

A ello cabe añadir la indefinición de un método de toma de muestras propia de la Construcción con Tierra. Ello genera problemáticas como las que se dan en muestras de poco tamaño y gran valor arqueológico, como las que se describen en la parte experimental. La imposibilidad de disponer de más muestra genera el rechazo de los ensayos destructivos que alteren la estructura de las arcillas (utilización de defloculantes en las sedimentometrías, temperaturas elevadas, empleo de ácidos). Del mismo modo falta concatenar los ensayos para prescindir al máximo de grandes cantidades de muestra de tierra, a la vez que se ahorran esfuerzos y gastos en análisis. También en muchas ocasiones esta misma situación de falta de muestra se da en la investigación de las tierras necesarias para construcciones nuevas, a pesar de que el Arquitecto tome 30 o 40 Kg.. En laboratorio el número de probetas hechas se dispara exponencialmente al estudiar una amplísima gama de estabilizantes ensayados, dosificaciones, o variar las condiciones de humedad de la mezcla utilizadas.

Falta de correspondencia entre los estudios de laboratorio y las estabilizaciones adoptadas

En la mayoría de los casos analizados destaca el concepto de mejora del material a partir del proceso de estabilización de las arcillas por mecanismos químicos, físicos o físico-químicos. De ello se han expuesto diferentes hipótesis del proceso de endurecimiento de autores como Ing. C. Fernández ¹⁰³. Y las publicaciones del departamento CRA Terre ¹⁰⁴.

Las interacciones entre las arcillas y los estabilizantes no han sido tenidas en cuenta desde el punto de vista de la ciencia de los aglomerantes en su estado actual

A la formación exclusiva de nuevos enlaces iónicos, que tal como se vé en el capítulo, resulta sumamente más complejo.

A pesar de ello siempre ha prevalecido, en la elección del estabilizante óptimo, el empleo de la experimentación de campo, en base a dosificaciones económicas, que dieran buenas resistencias a compresión ¹⁰³, considerando en algún caso, inclusive la abrasión ¹⁰⁴. No obstante, en determinados casos, se ha acompañado y justificado la elección y estudio del estabilizante con ensayos de laboratorio sin llegarlos a interpretar. Principalmente ha sido utilizada para ello, difracciones de rayos x, analítica química por absorción atómica, como métodos más complejos, hasta los ensayos estándares de mecánica de suelos, en los cuales destacan los límites de Atterberg y el ensayo Proctor, y en ocasiones

Generalmente no existe correspondencia entre estos análisis y el método de estabilización, quedándose a nivel muy empírico.

Esta crítica puede hacerse al estudio expuesto en el capítulo Tuset, donde se muestran una serie de ATD muy completos, sobre tierras de l'Ille d'Abeau estabilizadas y sin

¹⁰³ Comprobaciones resistentes de elementos constructivos de tierra. Aut Enrique Estrada Arqto. y Erhard Rohmer Arqto.- Urbanista. Equipo viviendas de muy bajo coste. IETcc- CSIC. Informes de la construcción Vol. 38 n° 385 1986.

estabilizar. El autor habla de la necesidad de caracterizar las fracciones granulométricas de la tierra como método para establecer la estabilización, y posteriormente lo ilustra con los ATD, sin relacionar unos ensayos con otros. La falta de conocimiento y método de análisis e interpretación química queda evidenciada cuando describe que el proceso de consolidación, término ya erróneo, se debe a la formación de carbonatos y de hidratos entre las arcillas y la cal, sin ninguna referencia a que tipos de arcillas están presentes. A continuación sí que se afirma correctamente que se forman silicatos y aluminatos con la presencia de adiciones puzolánicas.

Asímismo [Atzeni, Massidda, Sanna](#),ⁱⁱⁱ del Departamento de Ingegneria Chimica e Materiali de la Universidad de Cagliari, Italy. Usan el SEM para fotografiar las muestras estabilizadas y analizan químicamente las fracciones insolubles. Detectan presencia de Montmorillonita, lo cual no se relaciona con la baja efectividad de la estabilización Cemento Portland y alta con un 1.5% latex acrílico. Con el primero sólo se dan resultados positivos hasta dosificaciones del 2.5% de cemento.

Entre los antecedentes que tienen mayor rigor científico sobre el material "tierra", y que relacionan los estudios analíticos del material base, con sus resistencias y durabilidad, se encuentra el trabajo "primeros resultados del trabajo de investigación sobre la tierra como material de construcción", del IETCC, Aut. J. Díaz Romeral, M^a J. Guinea, E. Rohmer y J. Salas. CSIC., Ver antecedentes. Éste da la composición mineralógica a través de DRX, la composición química por absorción atómica, complexometría y los óxidos alcalinos por fotometría de llama. A continuación clasifica los suelos de forma sencilla, según granulometría simplificada (2mm/0,4 mm/ 80 μ), índice de plasticidad y límite líquido, utilizando el procedimiento del Highway Research Board (HRB.) Estos últimos resultados los relaciona con la cantidad presente de arcilla y las resistencias obtenidas a compresión, pero el gráfico y ecuación correspondiente se extraen de un corto intervalo, el cual, además, no puede ser extrapolable a otras tipologías de tierras y arcillas.

Tabla 3

RECOPILACION DE VALORES CUANTITATIVOS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS.
(Preparación de probetas: según pelta normalizada - DIN. 18.952 - hoja 2.)

	ALCALA de H.	CIADUEÑA	NAVAPALOS	CHILOBCHES	ALCALA- CHILOBCH.
DETERMINACION de FINOS. (%) (< 80 μ , UNE 7.135)	96,5	47,5	63,1	64,8	44,8
CONTENIDO de ARCILLA. (%) (< 2 μ)	38,3	16,1	26,6	24,1	18,3
HUMEDAD NATURAL. (w %) (en laboratorio)	4,49	1,82	2,41	2,86	2,38
INDICE de HUECOS. ($e = \frac{V_v}{V_s}$)	0,12	0,05	0,06	0,07	0,06
POROSIDAD. ($n_p = \frac{V_v}{V_0}$)	0,10	0,05	0,06	0,07	0,06
DEHIDRACION. ($V_A = \frac{V_A}{V_0}$)	0,19	0,47	0,37	0,29	0,37
LIMITE ELASTICO. (%) LP. (< 0,40 mm)	30,25	18,30	24,10	26,80	18,60
LIMITE LIQUIDO. (%) LL. (< 0,40 mm)	53,00	25,20	38,50	40,80	27,20
INDICE de PLASTICIDAD. IP.	22,70	6,90	14,40	14,00	8,60
ACTIVIDAD. ($\frac{IP}{LL}$)	0,59	0,43	0,54	0,58	0,47
RETRACCION. (%)	14,4	2,2	5,2	6,2	4,3
RESISTENCIA AL AGUA. (ensayo) (en 1 hora) probetas: 4x4x16cm	(válido)	(válido)	(válido)	(válido)	(válido)
RESISTENCIA a TRACCION. (Kg/cm ²) (prueba de los ochos)	3,00	2,25	2,75	2,00	2,25
RESISTENCIA a COMPRESION. (Kg / cm ²) probetas: 4x4x16cm	74,06	53,40	67,50	60,10	43,80
RESISTENCIA a FLEXOTRACCION. (Kg / cm ²) probetas: 4x4x16cm	20,87	13,50	23,50	18,60	17,40

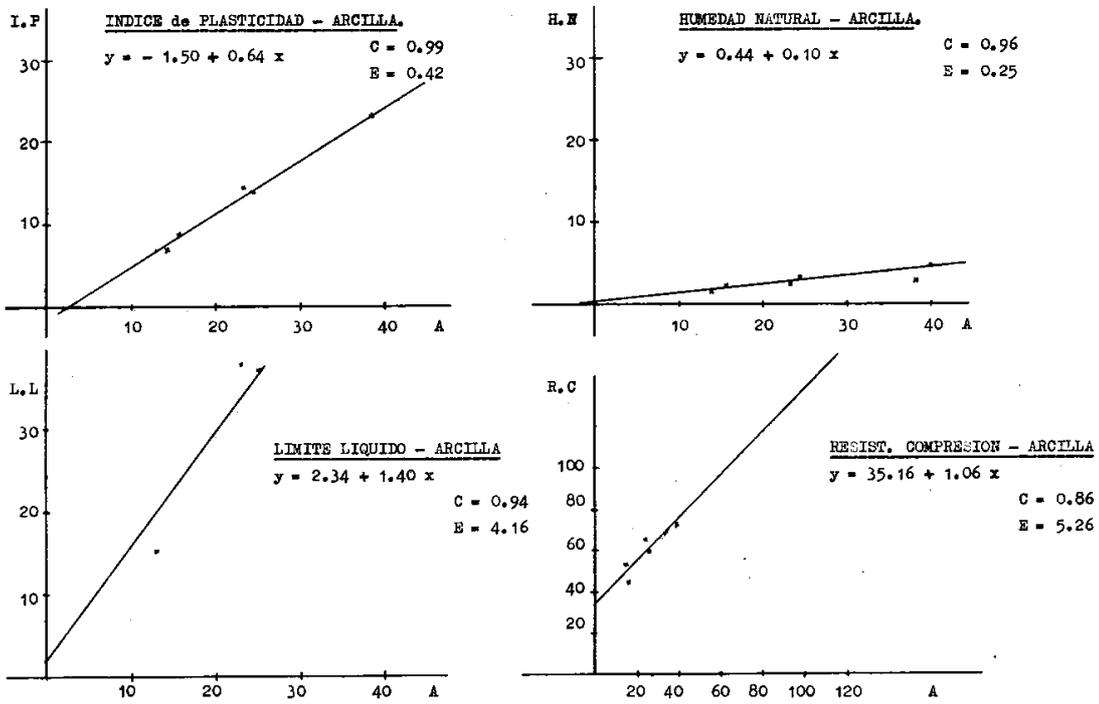


Fig. 6

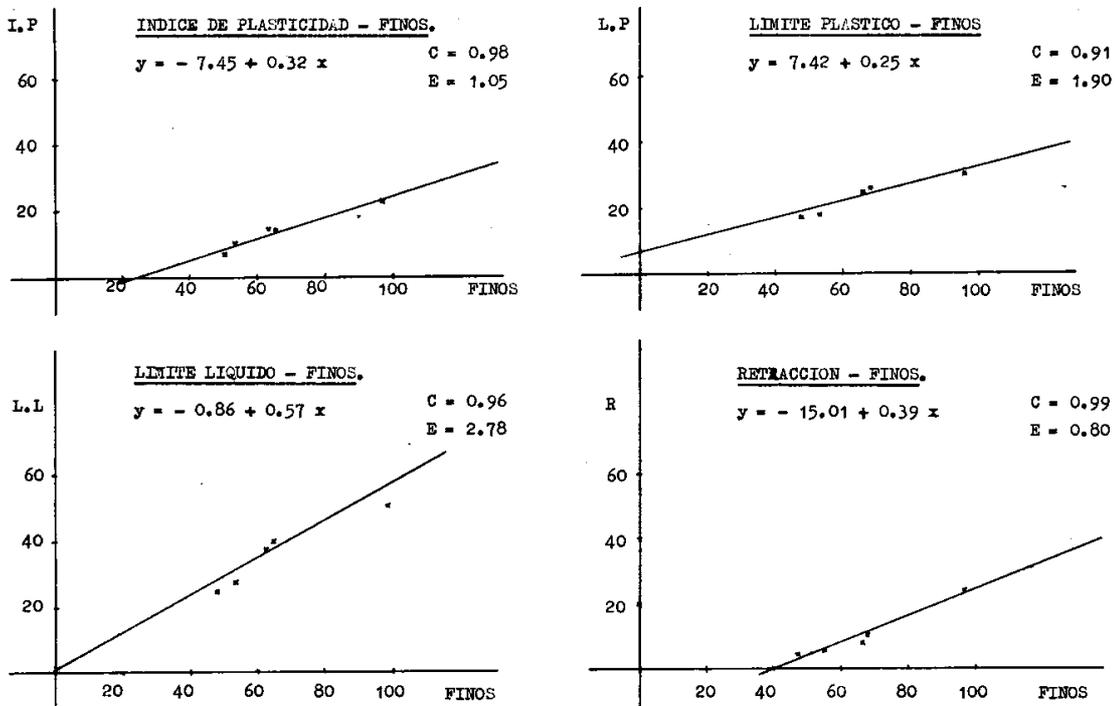


Fig. 7

La gráfica del límite líquido y la cantidad de arcilla muestra una gran dispersión respecto a las ecuaciones lineales de tendencia, que pretenden expresar el fenómeno, y la falta de puntos de referencia determina que deba tomarse precaución en la interpretación y uso de ésta.

Cabe observar que en el gráfico Hr-%arcilla Pág.32 IETCC, sale una pendiente muy baja. Si se duplica la cantidad de arcilla de la tierra sólo aumenta entre un 1% y un 1.6% la cantidad de agua natural de la tierra. Esto debería acompañarse de una valoración de la tipología de arcillas y minerales presentes que explican este bajo grado de absorción, pero el fenómeno no puede extrapolarse a otros suelos.

Desde nuestro punto de vista, la relación retracción-finos está en función de la granulometría y del tipo mineralógico de las arcillas presentes, y no parece adecuado utilizar una función lineal, con falta de datos en la franja superior, para estudiar y tomar decisiones sobre la tierra estabilizable. Así si trabajáramos con una tierra que tuviera una excesiva retracción, deduciríamos erróneamente que la solución pasa por reducir la cantidad de finos, sin saber si el fenómeno se debe a una mala granulometría de los mismos finos o a un exceso de montmorillonitas o bentonitas.

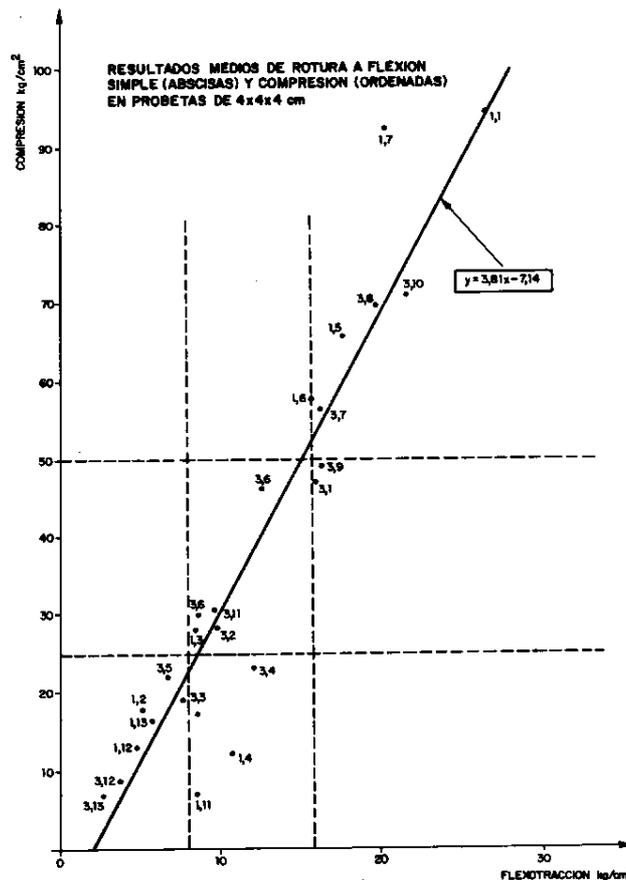


Fig. 10

Ilustración 2 IETCC Resultados ensayos físicos de las tierras analizadas. Gráfica compresión-flexo tracción.

La relación entre resistencia a compresión y a flexo tracción, tal como podemos ver en la Ilustración superior, tiene una tendencia lineal ascendente. Ésta, como en otros casos anteriores, sólo se adoptará como referencia generalista del fenómeno, ya que no es correcta para su cuantificación, así el error puede llegar a ser superior al 100% como puede apreciarse en las muestras 1.11 1.4 3.4, correspondientes a tierras estabilizadas con cal o hidrofugante (Adogen) y procedentes de Navapalos y de Alcalá-Chiloeches. En este estudio del IETCC, la información obtenida sobre el tipo de arcillas presentes, no la relacionan con la calidad del bloque de tierra, ni de la posible variación de las gráficas en función de éstas.

De nuevo, se demuestra cómo los fenómenos químicos entre estabilizantes y arcillas tienen una gran relevancia ante el comportamiento mecánico de la tierra, y, por tanto, son indispensables para su estudio.

Preparación de la muestra

Y para finalizar el análisis crítico de este estudio antecedente del IETCC, se destaca que **no se da ningún método explícito de preparación de las muestras de tierra**, por lo cual se hace muy difícil comparar los resultados con los obtenidos por otros autores. Aún y así, existe la norma **UNE 7002** Para la preparación de muestra de suelo. Ésta se hace por cribado, en tamiz de 0,42mm, y en el caso que este forme terrones especifica que se deberá desmenuzar en mortero. Éste procedimiento no queda suficientemente definido ya que podría dar un exceso de abrasión en el desmenuzamiento de la muestra, lo que originaría finos artificialmente, que a su vez harían disminuir erróneamente el límite líquido.

Insuficiencia del ensayo Granulométrico, y su contradicción con la gráfica de Plasticidad.

No parece de forma clara que los valores de los ensayos granulométricos estén en relación coherente con los valores de la plasticidad:

1- En muchos trabajos realizados como los ya citados **IETT¹⁰²**, se considera solamente la fracción granulométrica menor de dos micras $<2\mu$, como responsable de la plasticidad, cuando en realidad la fracción $<5\mu$ también es influyente, y, además, en menor proporción la fracción entre las 5 y 70μ . Por tanto, no existe una idea consensuada para establecer los parámetros granulométricos.

2- La importancia de la cantidad de estos finos granulométricos ha dado como resultado los trabajos del CRA Terre (Que establecen su tabla de valoración y utilización de los suelos, únicamente en función del tamaño de las partículas)(**gráfica Pág.36.**) Ésta también es adoptada por el MOPT.

3- Según nuestro criterio la plasticidad de la tierra estabilizable para construcción de tierras arquitectónicas debe ser relacionada con el contenido, y tipo de arcilla, y la suma

de finos mayoritarios entre la franja de 5 a 63μ . Así las gráficas anteriores del IETCC Pág.32, que responden a una ley de proporcionalidad directa entre I_p y la cantidad de finos y arcillas presentes, omiten las repercusiones que tienen sobre la plasticidad el tipo de arcillas y áridos micrométricos presentes (cuarzo, feldespatos, carbonatos.)

4- La mayoría de los trabajos antecedentes emplean la gráfica de los límites de Atterberg (ver Pág.35 Ilustración 3 Gráfica de Estabilización por Plasticidad.) Como para la diferenciación de los tipos de material. La incluyen también este sistema para la clasificación de los suelos, donde intervienen las valoraciones granulométricas, pero en el cual, también se excluye cualquier consideración sobre el comportamiento químico que presenta la tierra.

Es evidente que no existe un sistema que integre las dos series de parámetros fundamentales para definir las condiciones de estabilización como son la granulometría de finos y la plasticidad.

Y aún dentro de los diferentes materiales a clasificar, nos hemos de ceñir al tipo de material específico de nuestro trabajo que consiste como se ha definido en la página 26 “Tierra estabilizada para Construcciones Arquitectónicas”.

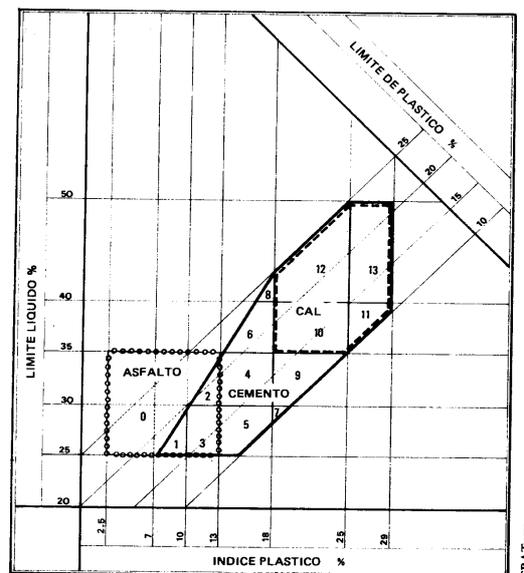


FIGURA 282: ESTABILIZANTES Y LÍMITES DE ATTERBERG

Ilustración 3 Gráfica de Estabilización por Plasticidad

Podría darse cierta contradicción entre las dos gráficas al considerar, por ejemplo, un aumento considerable de la cantidad de arcilla en una muestra de tierra. Por un lado, si ésta fuera un tipo de mezcla medio, con una plasticidad intermedia, el aumento en % provocaría un aumento considerable de los límites, desplazándose a la parte superior de estabilización correspondiente a la cal. Por el contrario, si en la gráfica granulométrica inferior del CRATerre aumenta la arcilla presente, la curva sube, y si esta supera el 25% del retenido entra en la zona de estabilización con cemento.

Presumiblemente las dos gráficas de estabilización se han hecho considerando criterios distintos e inexactos, basados en casos prácticos, lo cual requiere **buscar una síntesis de las dos**, sin olvidar su correspondencia con los tipos de arcillas presentes en la tierra, que hasta ahora ningún autor considera, en estos ensayos.

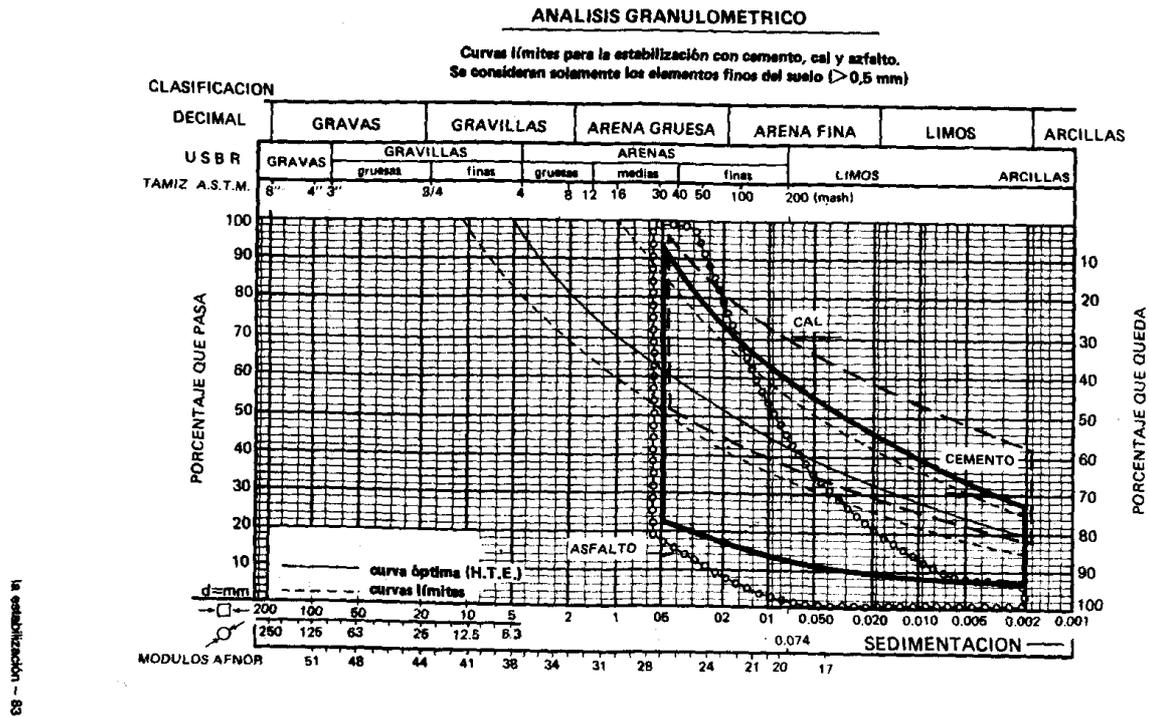


Ilustración 4 Gráfica de estabilización por granulometría

Determinación de la densidad y humedad óptima para la utilización de la tierra. Insuficiencia del ensayo Proctor.

Tal como se ha podido estudiar en los antecedentes”, La mayoría de los autores establecen la medida de la densidad de la tierra como un dato básico para el conocimiento de las propiedades que muestra una tierra. Éstas son básicamente la porosidad, y la resistencia máxima que se podrá obtener. Los dos son directamente proporcionales a la densidad obtenida en el proceso de elaboración del elemento constructivo. Para ello uno de los métodos más utilizado es el ensayo Proctor, basado en las diferentes densidades obtenidas por la compactación estándar de una tierra en un molde, en función de la cantidad de agua añadida.

La norma cubana establece que el factor primordial para garantizar la resistencia y la durabilidad del suelo-cemento es la compactación, omitiendo cualquier referencia a los factores químicos tal como veremos posteriormente. Esta compactación, específica, que se define a través de evaluar la energía dinámica del ensayo Proctor Estándar, a pesar de que el proceso ejecutivo emplea sistemas estáticos, y tal como describe la Norma: "no existen procedimientos analíticos para compatibilizar una con las otras."

La norma también especifica que directamente relacionado con la energía de compactación están el contenido de cemento, el contenido de humedad y la relación de vacíos y densidad del suelo-cemento compactado. A mayor y más efectiva energía de compactación, menor será el contenido de cemento y agua requerida en la mezcla y mayor será la densidad con una relación de vacíos más baja. Esto quiere decir que al añadir cemento los procedimientos del ensayo Proctor, citado por los cubanos como fundamental, se ven claramente modificados. Es obvio que la norma debería citar como mínimo la utilización de la

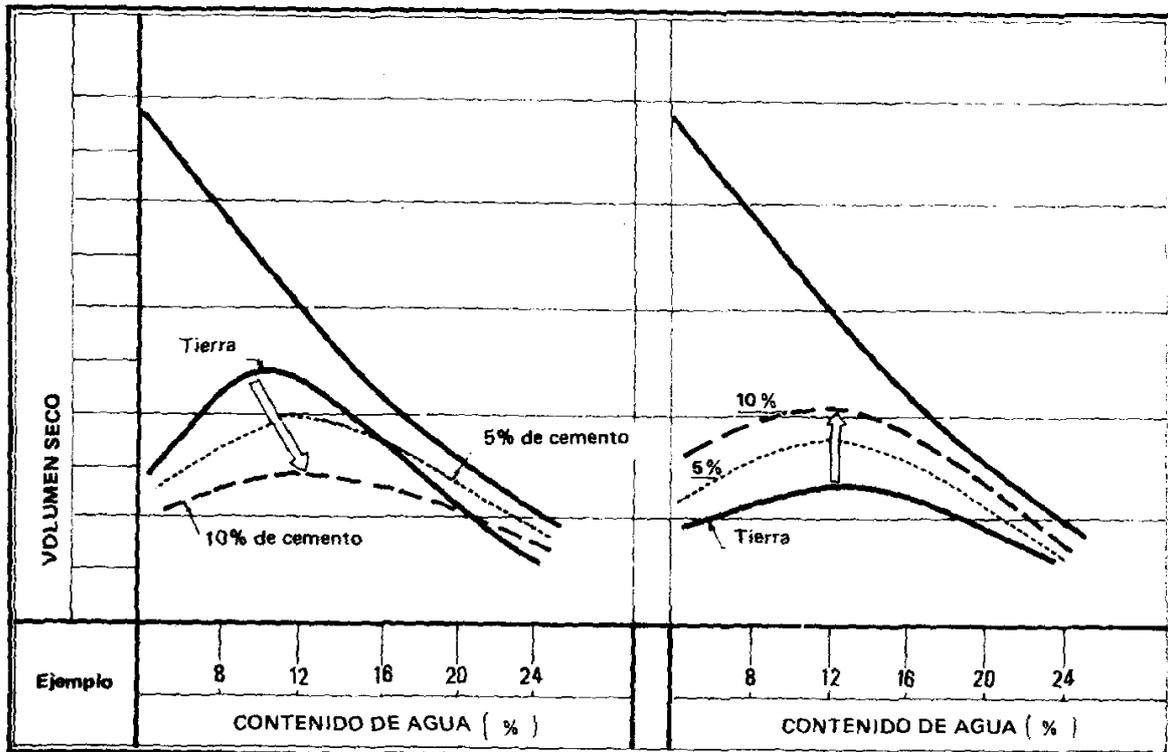
Tal hecho ha llevado a la utilización de una serie de ensayos no pensados concretamente

para la construcción con tierra, lo cual requiere de una revisión crítica, para poner las bases de un método propio a la Tierra Estabilizada.

Para los ensayos de determinación de las características físicas de las "tierras", también es de interés la norma [ASTM D 2216-92](#) sobre la determinación del contenido de agua en suelos y rocas. Este es un factor básico para el conocimiento de la densidad y del grado de absorción de agua que tienen las tierras. En ésta se dan unos criterios flexibles en referencia a la cantidad de muestra necesaria para el ensayo, y del tiempo de secado para obtener el peso seco constante. Esta norma, al no estar diseñada directamente para la construcción con tierra, utiliza una temperatura de secado de 110°C excesiva para mantener estable la estructura cristalográfica de las arcillas, ya que provoca la pérdida de agua ínter laminar. Esto puede provocar cambios estructurales en algunos sulfatos y filo silicatos, como son las arcillas, lo que repercutiría en alterar irreversiblemente la densidad real de la muestra, y sus características físico-químicas. Es destacable que la propia norma lo tiene en cuenta parcialmente, en las determinaciones de suelos orgánicos o yesíferos, en los cuales ya emplean temperaturas de 60°C. Este factor de temperatura también debe considerarse como análisis crítico en la utilización, para tierras estabilizables, de la norma [UNE 7045](#) Pág. [Error! Marcador no definido.](#) sobre la determinación de la porosidad de un terreno, y de la, parecida al ensayo de la. Éstas, además, no establecen numéricamente una presión de compactación tipo, sino sólo regularizan el ensayo al fijar 25 golpes por tongada. Para nuestro estudio el valor cuantitativo de esta presión es de vital importancia, ya que la calidad del Bloque de tierra comprimida BTC, objeto de la Tesis, es en función de las presiones de fabricación utilizadas, para cada una de las cuales, existirá un punto óptimo de humedad de la tierra que dará densidad y resistencias máximas. Así mismo el proceso de presión dinámica, que el ensayo Proctor produce sobre la muestra, no es equiparable a la presión estática dada por las máquinas manuales o hidráulicas de fabricación de BTC. Sólo sería utilizable en el caso de la ejecución de los tapiales tradicionales, hechos a partir de compresión dinámica manual, o por martillo eléctrico o hidráulico. Esto condiciona que las parábolas obtenidas, que relacionan densidad con la tenencia de agua (HR %), en el caso del BTC, pueden ser totalmente erróneas, a lo que se añade el efecto de que se fabrique a distintas presiones de compactación, desde 20 Kp/cm² a 100 Kp/cm², no equiparables a las dadas por la maza de 4Kgr. del Ensayo proctor.

Estos efectos erróneos son menos evidentes cuando en la tierra existen sustancias estabilizantes. Como vemos en siguiente gráfico del CRA. Terre cap. Estabilización Pág. 85 [Error! Marcador no definido.](#), El uso de estabilizantes modifica sustancialmente la forma e

inflexión de la parábola dada por el ensayo proctor, suavizándola y desplazándola ligeramente a la derecha. Esto demuestra como todos los ensayos efectuados en tierras para ser estabilizadas no son demasiado útiles, y en muchos casos conlleva error al momento de decidir la cantidad de agua óptima para conseguir mejores densidades.



INFLUENCIA DEL CEMENTO SOBRE EL VOLUMEN SECO

Ilustración 5 Modificación por estabilización de la curva característica humedad-densidad dada por Proctor.

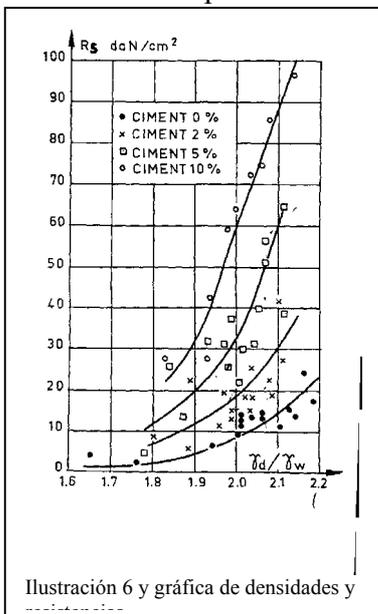


Ilustración 6 y gráfica de densidades y

Este es un punto que Jean Michele Gresillón¹⁰⁴ también pone en duda, afirmando que es mucho más indicativo el índice de poros “e” que no la densidad como factor a considerar, sin desmerecer la importancia de la densidad en la determinación de resistencias. Así, el autor muestra, en la ilustración superior, como se incrementan por 3 las resistencias en tan solo variar las densidades de 1.9 a 2.1, aunque advertimos que los ensayos de este autor se refieren también a tierras modificadas con cemento como estabilizante. A pesar de ello obsérvese en la Ilustración 5 como las líneas de tendencia aún siendo reales, ocultan desviaciones entre los resultados, generadas seguramente por la distinta naturaleza físico-química de los finos. Esto se hace más evidente con las muestras estabilizadas a un 5% de los cemento Pórtland, que con iguales resistencias se dan variaciones de densidad de 100 a 200Kp/m³.

Por este motivo el estudio establece unas gráficas, ver Ilustración 7, que interrelacionan más parámetros físicos a la vez. Éstas relacionan resistencias, módulo de finura, índice de plasticidad e índice de poros, estableciendo una nueva vía de investigación que

¹⁰⁴ Étude de l’aptitude des sols a la stabilisation au ciment application a la construction. Aut. Jean Michele Gresillón. Annales de L’Institut technique du bâtiment et des travaux publics n° 361 1978.

superara a los datos que da el ensayo proctor. Pero tal como reconoce el mismo autor, también existe demasiada dispersión en el muestreo para llegar a tener una gráfica correcta. El mismo compara los valores medidos con los valores calculados lo cual pone en entredicho la validez del método, tal como queda reflejado en la **Ilustración 7**.

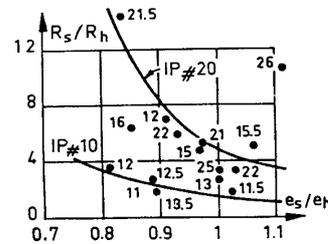
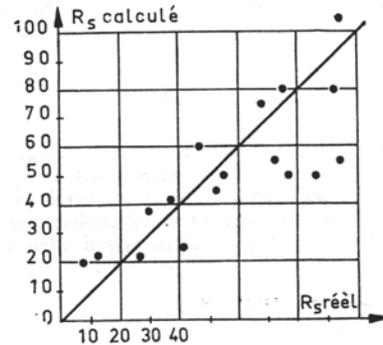
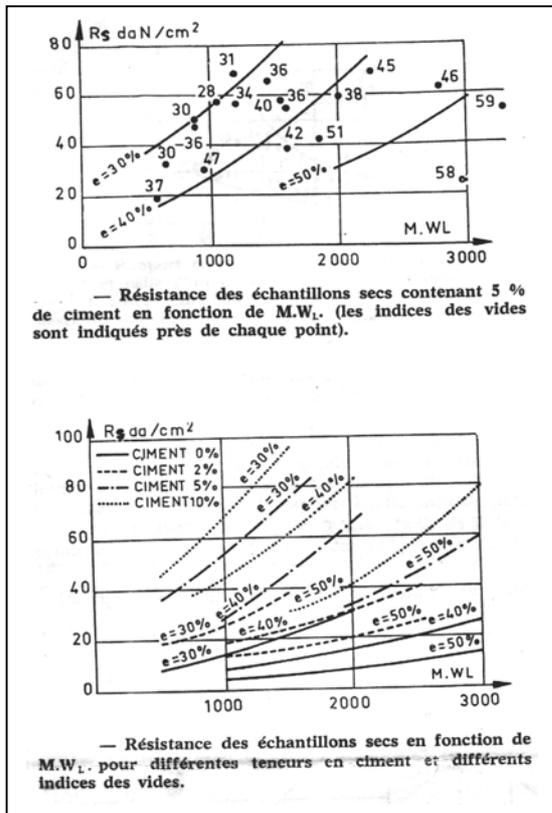


Ilustración 7 Gráficas de J.M.Gresillon que pretenden relacionar el Índice de Poros con el Índice de Plasticidad y Resistencia

Todo esto se explica por la falta de considerar la química de las arcillas presentes en las tierras y su comportamiento aglomerante en presencia del cemento Pórtland.

Esto también lo ratifica el estudio de Myriam Olivier del ENTPE ¹⁰⁵, en el cual, la relación entre densidad seca y el % de contenido en agua, de las dosificaciones empleadas en este estudio muestran una gran variabilidad en los resultados.

A pesar de que traten de tenencias de agua altas y la parábola característica de los ensayos Proctor sea poco perceptible, aquí lo que se valora es que en un mismo nivel de hidratación se producen excesivos desfases en los resultados.

Así para una misma muestra de tierra y un mismo contenido de 24.8% de HR, la densidad varia desde 1.4 a 1.59, lo que representa una oscilación del 20%. Lo mismo puede ser observado en las gráficas adjuntas **Ilustración 8** de resistencia y contenido de agua. El estudio comenta que esto puede ser debido a la variabilidad de condiciones en la fabricación de la probeta (Ø 9,5 cms y altura de 12 cm), por la diferente presión de relleno, y por la variación de la distribución de poros y coqueras. Por ello es de gran

¹⁰⁵ "Restauration des murailles de Sanaà, Yemen du nord" Amelioration du Zabour, Methode Traditionnelle de Construction en terre. Aut. Myriam Olivier, Ali Mesbah et Willy Adam. Laboratoire Géomatériaux. ENTPE, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat. France. edit. Adobe 90. J.Paul Getty Trust.) (ver también Zabour).

importancia la preparación de la muestra, y la forma adoptada en las probetas, para obtener unos resultados fiables.

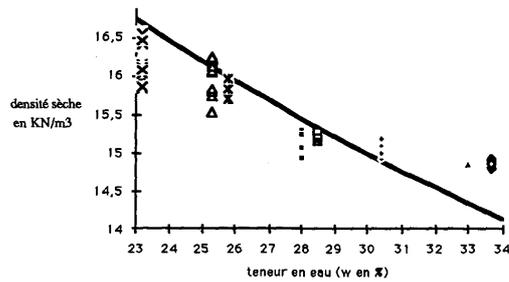


figure 5 : (densité sèche / teneur en eau) pour le matériau non stabilisé

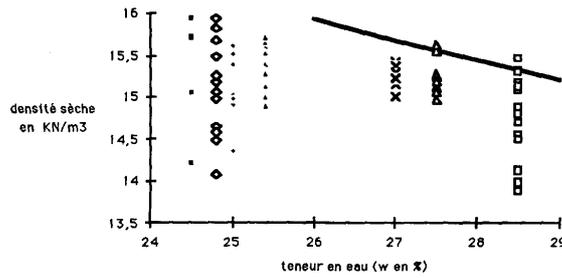


figure 6 : (densité sèche / teneur en eau) pour le matériau stabilisé à 6% de ciment

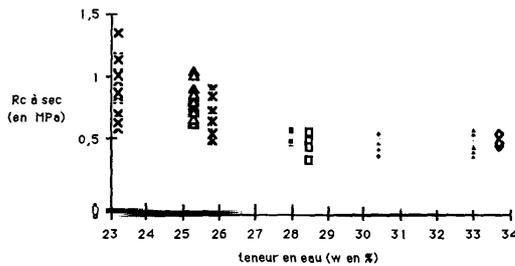


figure 7 : (Résistance à sec / teneur en eau) pour le matériau non stabilisé

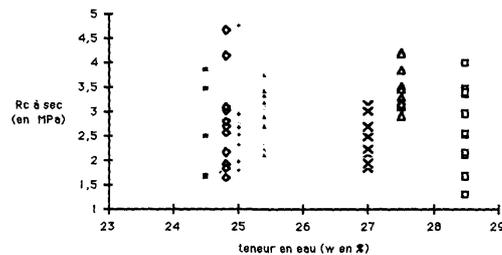


figure 8 : (Résistance à sec / teneur en eau) pour le matériau stabilisé à 6% de ciment

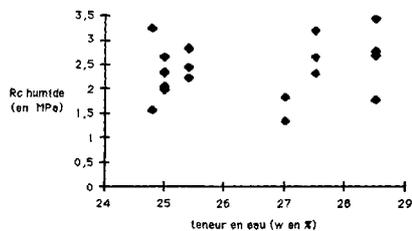


figure 9 : (Résistance Humide / teneur en eau) pour le matériau stabilisé à 6% de ciment

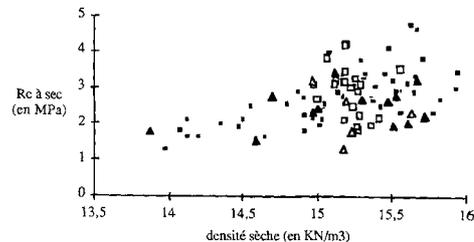
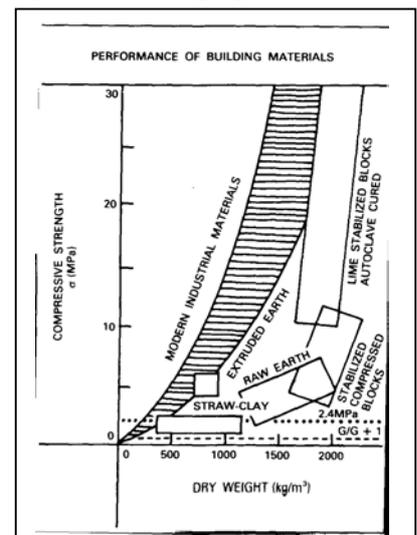


figure 10 : courbe (Résistance / densité sèche) pour le matériau stabilisé à 6% de ciment

Ilustración 8 Gráficas densidad/Resistencia/Tenencia de agua del ENTPE

El estudio de la gran diversidad de resultados que aparecen en la figura 9 y 10 de la Ilustración 8 que relacionan densidad seca y resistencias, ratificada también por la Ilustración 9 de Gresillón, determina que en el hecho rigen otras leyes más complejas, imposible de reflejar y simplificar en una única ecuación.

En Earth Construction⁴⁴, el autor Hugo Houben, también utiliza una gráfica de estas características para definir los grupos principales de utilización de la tierra, y hacer la comparación con los materiales modernos de construcción. Sólo advertimos que no puede tomarse como referencia directa, y que aunque exista una cierta relación, no es exacta



para evaluar numéricamente la calidad y resistencia del material conseguido a partir de su densidad.

Como conclusión se establece la necesidad de conocer el nivel óptimo de hidratación de la tierra para la obtención de las mejores prestaciones arquitectónicas posibles. Esto es indicado sobretodo, por el índice de poros, el índice de plasticidad, y el grado de formación de nuevas estructuras químicas, como veremos y trataremos de demostrar.

Ilustración 9 Gráfica Densidad seca-Resistencias-

Sistemas tecnológicos

Inexistencia de estudios integrales de durabilidad

Tras un análisis exhaustivo de los antecedentes, podemos constatar la falta de método en abordar la cuestión crucial de la durabilidad de los edificios elaborados con “tierra”. Sí que aparecen análisis relativos a la comprobación de la resistencia final de los elementos utilizados o construidos¹⁰⁶, o las comprobaciones relativas a la seguridad antisísmica¹⁰⁷, pero siempre tienen un enfoque parcial y difícil de aplicar para su utilización generalizada. Asimismo sucede con los ensayos utilizados para comprobar la durabilidad de las recién formadas estructuras físico-químicas de la tierra estabilizada. En éste punto cabe citar ciertas cuestiones relativas a estos ensayos más utilizados:

a) Retracción

Uno de los parámetros fundamentales para el control de la calidad del BTC es la retracción^{¡Error! Marcador no definido. ¡Error! Marcador no definido.}, la cual ha sido controlada hasta ahora por medios no estandarizados, propios de la construcción con adobe. También existen las [UNE 7016 Y la ASTM de 427-93 “Test Method for Shrinkage factors of soils by the Mercury Method”](#), sistemas ya normalizados para suelos. Estos métodos presentan dificultades para obtener con exactitud la medición del volumen aparente, derivadas del contacto con el mercurio, y al tratamiento dificultoso de la probeta. Otro factor a considerar, de estos métodos, es que la inclusión de aire, en los macro poros de la probeta de tierra o en la propia tapa del aparato, puede generar error. También éstos procedimientos no definen exactamente la forma de la muestra, y el hecho de utilizar sólo 30gr. menores de 435µ pone en duda la representatividad de la muestra.

b)Perdidas por hielo-deshielo, humectación-desecado

Estos ensayos presentes en la British Standard¹⁰⁸ difieren bastante de los del Portland Cement Association, tanto por las dimensiones de las probetas, del proceso de compactación y del sistema de curado.

¹⁰⁶ “ Comprobaciones resistentes de elementos constructivos de Tierra”. Resistance checkings on earth elements for construction. Aut. E.Estrada y E.Rohmer. Equipo IETCC-CSIC. Informes de la Construcción Vol n°38 n°385 1986. Edit. IETCC Madrid.

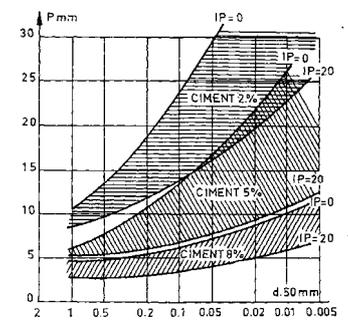
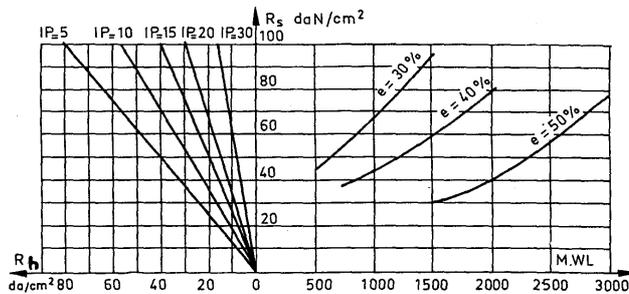
¹⁰⁷ “ Earthquake resistant rammed-earth (tapial) buildings” Aut. Eng. Julio Vargas Neumann. Univ.Católica Perú. Proceedings of Adobe 93. Silves Portugal. Edit.DGEMN Lisboa 1993

¹⁰⁸ “Evolução das pesquias de laboratorio sobre solo-cemento”, C.de Sousa.CRATerre, ABCP Sao Paulo1980.

En este aspecto sólo hemos encontrado aun autor que relacionara directamente la durabilidad con la estructura, A.García Verduch¹⁰⁹ un especialista en arcillas bien fundamentado¹¹⁰. Éste considera que el tiempo de desmoronamiento por inmersión es muy diferente de unas arcillas a otras, lo cual depende de la naturaleza mineralógica de la fracción arcillosa, de su finura de grano, y de la proporción y granulometría de las fracciones limosas y arenosas.

c) Durabilidad ante la Abrasión

Uno de los estudios que más ha ahondado en esta característica es el del IETCC¹⁰²¹¹¹ sobre suelos de Navapalos, Alcalá y Chiloeches. Los métodos empleados en este trabajo, no se encuentran lo suficientemente definidos, así como el grado de exactitud obtenido, y en consecuencia es dificultosa su posible utilización y comparación con estudios de otros. Y como ya hemos indicado anteriormente, no se determina la relación existente entre los resultados finales obtenidos y los datos precedentes investigados sobre tipos de arcillas, estructuras cristalográficas, granulometrías y estabilizantes empleados, infrutilizando la información de gran interés conseguida.



Relation entre la résistance à la pile et le diamètre moyen des grains pour divers teñores en ciment (P est la profondeur des trous après un test d'arrosage normalisé défini dans (5)).

Ilustración 10 a) Gráfica múltiple que relaciona la Resistencia seca, la húmeda, el índice de plasticidad, el índice de poros y el módulo de granulometria/límite líquido. Observar que para un mismo índice de poros, el aumento de resistencia está en función de aumentar el límite líquido y la proporción de finos <0.4mm (M b)Gráfica de relación entre tamaño medio de las partículas y la profundidad de perdida por abrasión - goteo.0

102 104

British Standards Institution- British standard methods of test for stabilizad soils. London, 1957. p.58-84 (B.S 1924)
¹⁰⁹ La Tierra un material a investigar. Aut. Antonio Garcia Verduch. Investig Inst. Cerámica y Vidrio de Arganda del Rey. CSIC Madrid. Monografía n° 385/386 IETcc Madrid 1987
¹¹⁰ Proceedings of the International Clay Conference. 1972. Madrid Edit. J.M. Serratos CSIC 1973 Madrid.
¹¹¹ "La Tierra material resistente al agua" Aut. M° Jesús Guinea Díaz. " La tierra material de construcción" Instituto Eduardo Torroja. Monografía n° 385/386. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid 1987

Esto mismo se repite en los análisis físicos de otros autores^{102 104} como J.Gresillon o H.Houben. Ello repercute en las gráficas que resumen estos estudios de la [Ilustración 10](#), donde se puede observar una falta de correspondencia entre Resistencia húmeda y resistencia a la abrasión. Así éstas muestran el ensayo resistencia húmeda-seca y su relación con el índice de plasticidad I_p , y por otro lado la profundidad de la abrasión por goteo y su relación con la proporción de partículas menores de 0.04mm y, también, con el I_p . En el primero la resistencia húmeda y la seca son más parecidas cuanto más bajo es el índice de plasticidad. Mientras que en el segundo es totalmente al contrario. La gráfica demuestra como son los índices de plasticidad bajos y el mayor contenido de finos los que dan un ataque mayor por goteo. En el cap.estabilización con cemento de "Construir con Tierra"^{¡Error! Marcador no definido.}, también se afirma categóricamente que la "erosión no está directamente ligada a la resistencia mecánica"

d) Ataque por Sales y sulfatos

Estos tipos de patologías químicas no son tratados con el rigor que requieren por los técnicos, ya que generalmente el conocimiento químico de los materiales se ve como algo muy lejano de la "estética, el diseño, de las propiedades físicas y de las mecánicas".

Como ejemplo hacemos referencia a una cita de la Arquitecta Cecilia Alderton¹¹², respecto a un proyecto ejecutado con tierra estabilizada, la cual sin aportar datos físico-químicos confirmativos expone:

".....algunos de los adobes han tenido un comportamiento extraño. Parecía que nunca terminaran de secarse, por lo que deduzco que deben tener un alto contenido de sales (incorporadas seguramente en el agua de amasado.) También relacionado con éste problema, se produjeron desprendimientos de la capa de protección exterior de tierra, arena y asfalto, principalmente en la fachada más expuesta al viento y la lluvia."

Es obvio que esta descripción de unas patologías sin aporte de datos de laboratorio no es operativa, ya que no puede confirmarse la causa ni el método adecuado a emplear de rehabilitación.

Los técnicos deben evitar hacer suposiciones sin conocer la causa que produce cualquier patología, y recurrir en todo momento al conocimiento físico-químico de los materiales que se empleen.

Carlos de Souza^{¡Error! Marcador no definido.} afirma que la cuestión de la durabilidad del suelo-cemento está en función de la dosificación del cemento empleado como estabilizante. Es obvio que esta afirmación se limita al campo de la durabilidad analizada desde el punto de vista de los ensayos físicos que presenta, sin tener presente la complejidad de las reacciones químicas que se dan en el cemento y las arcillas.

A pesar de estos casos igualmente el CRATerre^{¡Error! Marcador no definido.}, referencia indiscutible hasta ahora para todos los técnicos que han construido con tierra, da los siguientes porcentajes máximos que puede tener una "tierra estabilizable" para que sea durable: Materia orgánica <1%, un 2% ya entraña mucho riesgo; sulfatos, a estudiar en los casos con un 2-3%; óxidos e hidróxidos <5%, factor muy determinante en tierras tropicales y lateríticas.

No obstante el propio CRATerre^{¡Error! Marcador no definido.} no establece un método que asegure resultados coherentes para cualquier caso, y tampoco relaciona los valores máximos con la cantidad de estabilizante y arcillas presentes empleados.

¹¹² *Bulletin CRATerre n°21-22 1998. Arquitecta Montevideo-Uruguay*

Esto mismo se repite en las Instrucciones Técnicas cubanas. La cual contiene, textualmente, " los aspectos fundamentales del control de la calidad en elementos básicos de la construcción con suelo-cemento". A pesar de ello el rigor de control se limita a ensayos de campo sobre granulometría y plasticidad, omitiendo en los ocho factores de control básicos, que expone, cualquiera referente al control sobre la presencia de sulfatos u otras sustancias que pudieran afectar al proceso de endurecimiento y a la durabilidad de la mezcla de tierra y cemento.

Asimismo el autor Hugo Houben¹⁰², en su tratado sobre construcción con tierra, no establece ningún porcentaje máximo admisible de sulfatos, únicamente especifica que es necesario aumentar las dosificaciones de cemento para mitigar sus efectos. En la cuestión de las sales sí que establece un máximo del 0.25% para estabilizaciones bituminosas.

Sherwood en sus estudios^{113 114} sobre la aplicación de una tierra con un único tipo de arcilla estabilizado con cemento, expone cómo con un 0.75% de Sulfato magnésico $\text{SO}_4\text{Mg} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ i/o un 1% de SO_4Ca sulfato cálcico, o una solución acuosa del 0.2% del sulfato, son suficientes para se produzca una completa disgregación de las probetas en contacto con el agua. Esto genera que el autor niegue en cualquier caso de presencia de sulfatos la utilización de suelo-cemento, sin establecer una cota máxima.

El trabajo de Sherwood es de gran interés porque incluso ha ensayado la sustitución de cemento Pórtland normal por cementos resistentes a sulfatos paradójicamente con resultados negativos.

Por tanto, no hemos encontrado, y consideramos esencial realizar, un estudio metodológico que delimite los límites de las sustancias agresivas para que exista o no patología y que se pueda generalizar para distintos tipos de arcilla y estabilizantes.

El mismo autor relaciona el comportamiento de una tierra arcillosa denominada " Oxford Clay", en función de su variabilidad química por la profundidad de los estratos, establecida por el contenido de materia orgánica, el pH, el contenido de sulfatos, el Ca O soluble o la presencia de Mg O, con el descenso de resistencias de las probetas de suelo-cemento obtenidas. Hacemos notar que siendo uno de los pocos estudios que investiga las patologías sobre el endurecimiento del suelo cemento, no establece ningún tipo de vínculo entre la química de las arcillas, los factores anteriormente citados y el cemento Pórtland. Carece de una relación integral de todos los factores de variabilidad, lo cual provoca dificultad al mismo autor en identificar el factor más directo en el descenso de resistencias. A pesar de ello sí se observan los datos expuestos destaca el contenido de un 9-10% de SO_3 como factor de mayor influencia sobre el resto. El trabajo no experimenta aisladamente la influencia de cada una de las variables que afectan a la estabilidad, por lo que no puede llegar a conclusiones discriminativas de cada variable.

De los resultados obtenidos, este autor, aunque se refiera sólo a suelo-cemento, reúne unas determinaciones a manera de test para determinar previamente la viabilidad de la mezcla.

Esta aportación, no obstante, queda aún muy lejos de constituir un método sistemático de aplicación general para suelo cemento y que nosotros proponemos para el BTC.

¹¹³ Stabilization of Weathered and Sulphate Bearing. P.T Sherwood. "Geotechnique" December 1957.

¹¹⁴ Further studies on the effect of organic matter on the setting of soil-cement mixtures. Aut. P.T. Sherwood and K.E. Clare. Edit. JNL of applied chemistry 1956. Vol.27 Num.6 pags 317-324.

The effect of organic matter on the setting of soil-cement mixtures. Aut. P.T. Sherwood and K.E. Clare. Edit. JNL of applied chemistry 1954. Vol.25 Num.4 pags 625-630.

Otros artículos del Indian Concrete Journal ¹¹⁵ estudian la relación de la durabilidad del suelo-cemento con la presencia de sulfato y carbonato sódico, pero no la relacionan con el tipo de tierra presente.

Estos estudios establecen para suelo-cementos con estabilizaciones altas 7-10% de los cemento Pórtland, se consigue límite máximo ante sales bastante elevado: 2.5% para el sulfato sódico y un 5% para el carbonato sódico, que se expande 1.7 veces en presencia de agua. Por el contrario esta sustancia última, junto al hidrato o sulfato sódico, son considerada estabilizantes por Lambe ¹¹⁶, eso sí en proporciones del 0.5-1%.

-Materia orgánica

Los antecedentes nos muestran métodos (para la determinación de materia orgánica en suelo-cemento y su relación con el descenso de resistencias a compresión. El problema es que los ensayos se limitan al estudio de dosificaciones del 10% de Cemento Pórtland y del 10% de agua de amasado, por lo cual el fenómeno no puede hacerse extensible a otras dosificaciones de Pórtland y/o otros estabilizantes.

En la Ilustración 11 de los estudios de Clare y Sherwood ¹¹⁷ sobre los efectos de la materia orgánica en el suelo-cemento se demuestran que la caída de resistencias va en función de la capacidad de absorción de iones de calcio por la tierra, como indicador, conjuntamente al pH.

Así pues la absorción de los iones de calcio puede ser en principio un indicador de las resistencias.

También afirman que la glucosa y los polisacáridos (al 0.05%) y los ácidos nucleicos son los compuestos orgánicos más peligrosos frente al cemento.

Quedan en un segundo término, con un efecto también negativo pero de menor efecto que los anteriores, la caseína, la pectina, y la carboximetilcelulosa.

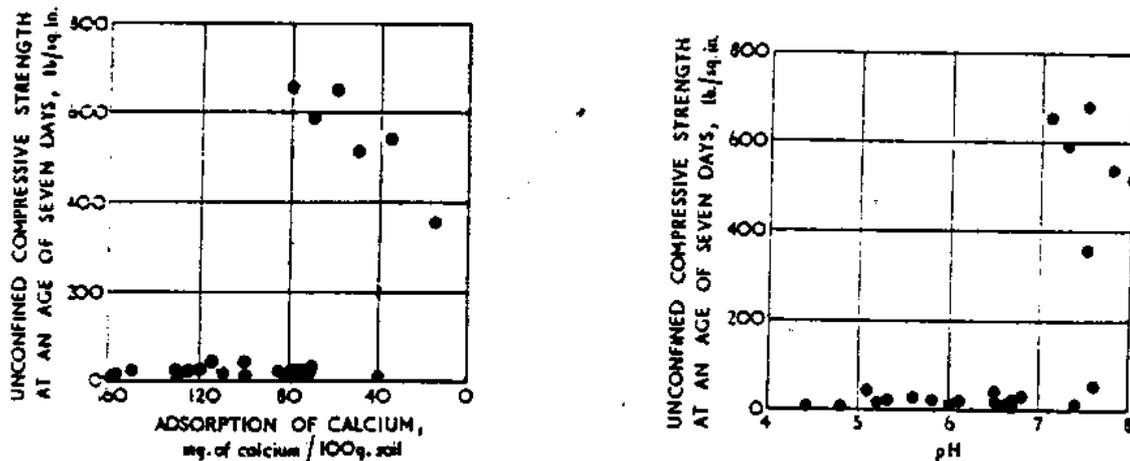


Ilustración 11 Efectos de la absorción de iones de calcio y del pH en la resistencia a compresión para suelo-cemento al 10%

Este estudio no relaciona el efecto de estos compuestos con las arcillas presentes en la tierra, habiéndose fundamentado sobretodo en una serie de probetas de arena silícea limpia y 10% del cemento, no quedando claro las relaciones de humedad- densidad

¹¹⁵ Role of Detrimental Salts in soil Stabilization with and without cement. The effect of Sodium Sulphate. Aut. S.R.Mehra, L.R Chadda y R.N Kapur. Edit. Indian Concrete Journal October 1955 Pag. 336-337 pag. 401-402

¹¹⁶ 2 Improvement of the strenght of soil-cement with additives." Aut. T.W. Lambe y Z.C. Moh. Edit. Higway Research Board, Proc. 36 1957

¹¹⁷ Effecte of Organic Matter on the setting of soil-cement mixtures. Aut. K.E Clare y P.T.Sherwood. J.Appl.Chem.4. November 1954

empleadas, punto que como se ha expuesto anteriormente, es básico en la concepción y diseño con el material “Tierra”.

Hugo Houben en “Earth Construction”¹⁰² si que ofrece unos parámetros de afectación de la materia orgánica sobre las resistencias en función de los tipos de suelo. Así, coincidiendo con el anterior autor, éste diferencia dos grupos de tierra estabilizada en función del pH de la tierra estabilizada. Para $\text{pH} > 7$ en tierras como el “gley soils, calcareous soils o Brown alkaline soils” con dosificaciones de un 10% de Pórtland se aconseja un índice $< 1-2\%$ de materia orgánica.

Para el caso de $\text{pH} < 7$, como el “gley soils”, los “podols” y los “acidic brown soils”, el índice de contenido de materia orgánica tiene que ser $< 1\%$. A lo cual hay que añadir que sólo en determinados casos, pueden ser estabilizados con cemento Pórtland, o los tratados con la condición de un tratamiento preliminar de cloruro cálcico al 1-2%. La aplicación de este tratamiento y la utilización del cemento Pórtland es expuesta de forma poco concreta, lo cual pone en duda su posible aplicación.

El mismo autor, en otro capítulo, afirma que para dosificaciones superiores al 20% de materia orgánica hay que recurrir a estabilizaciones con cal, sin especificar la cantidad de estabilizante.

Además, como puede observarse en todos estos índices no se considera que tipo de materia orgánica se trata, si son de cadena larga o corta, a parte de que no se corresponden con los expuestos por Sherwood [Pág.45](#).

A pesar de ello quedan numerosas lagunas referentes a las reacciones que suceden en otros tipos de suelo, y a medidas más concretas respecto a las arcillas presentes y a las diferentes dosificaciones de Pórtland u otros estabilizantes.

Se demuestra que se carece de método, de manera que los datos siempre son dados de forma dispersa y poco sistemática, para poder ser utilizados y comparados de manera práctica por otros autores y aplicar a otros tipos de tierras.

Los estudios de los edafólogos J. Benayas¹¹⁸ y F.Velasco¹¹⁹ demuestran como no se puede generalizar que la materia orgánica induce siempre patología al material. Éstos determinaron la formación de neocompuestos nitrogenados estables entre la arcilla y ciertos compuestos orgánicos de cadena más larga. Este complejo estable órgano-arcilloso es más resistente a la disgregación y erosión por el agua. Esto se muestra en los resultados analíticos que indican que la paja de cereales, inicialmente con una alta razón C/N, ha evolucionado en treinta años hacia un tipo de fracción orgánica con baja razón C/N. Asimismo, el predominio de la fracción orgánica residual no extraíble por las soluciones alcalinas precipitable por los ácidos, induce a pensar que parte del

¹¹⁸ *Micromorfología de adobes de Navapalos. (Soria) Abstract “Navapalos97”. Aut.J.Benayas Instituto de Edafología y Biología Vegetal. CSIC. Edit. Ministerio Agricultura. Madrid 1997*

¹¹⁹ *Consideraciones científicas sobre la incorporación de materiales orgánicos en la preparación de adobes. Aut. Francisco Velasco de Pedro. Profesor de Investigación. Instituto de Edafología y Biología Vegetal. CSIC.. Abstract “Navapalos 97”. Edit. Ministerio Agricultura. Madrid 1997*

material orgánico incorporado en la fabricación de estos adobes se caracterizaba inicialmente por un mayor grado de descomposición

Falta de correspondencia entre la analítica tecnológica y los parámetros arquitectónicos del proyecto.

Falta de un sistema de estabilización consecuente con la química de las arcillas

Los autores Hugo Houben y H.Guillaud en la Pág.109 de su libro⁴ describen dos sistemas de estabilización, a los cuales hacemos las siguientes consideraciones:

1-El primero es muy generalista y carece de concreción. Funciona entorno al sistema de clasificación de Casagrande, contemplado en la Norma ASTM y el sistema UCS. Sólo se define si la tierra es apropiada o no, y únicamente se dan formas de compensarlo con sólo la adición de finos y arenas, en función de las características de la tierra.

2- En el segundo sistema, el autor, lo completa con una tabla anexa de tipos de suelos y la utilización de los tres sistemas de estabilización más generales: Pórtland, cal y asfalto. A todos se les aplica el cemento, la cal a los arcillosos y el asfalto a los arenosos. A pesar de ello no se definen ni dosificaciones, ni sistemas de aplicación, al igual que ninguna consideración sobre durabilidad.

Los otros sistemas de estabilización de las tierras que hemos podido estudiar en los antecedentes utilizan generalmente, o bien los índices de Atterberg o bien la Granulometría. [Ilustración 3 Gráfica de Estabilización por Plasticidad y Granulometría Pág.35.](#)

Pero, como ya exponíamos anteriormente sus resultados no se relacionan con una total coherencia, y, además, relegan la aplicación a sólo tres posibles tipos de estabilizantes, frente a la diversidad de productos naturales e industriales, y que los mismos autores referenciados listan en sus publicaciones

Ello deja un enorme vacío, en el campo de la aplicación de los estabilizantes, difícil de ser afrontado por técnicos sin una preparación en la físico-química de materiales y el conocimiento de las arcillas y tierras.

La Norma 4 IT-02-91 INV-CUBA para estabilización de la tierra, usa únicamente ensayos de campo, como el del olor para materia orgánica, o el del cilindro para la plasticidad. Éstos ensayos no hace falta desestimarlos completamente, pero sólo son válidos para dar una primera idea de las características del material tierra a estabilizar, debiéndose de completar con una metodología de laboratorio.

Asimismo los autores referenciados no exponen ningún sistema capaz de integrar todas

las variables que influyen en la estabilización de tierras, para evitar esta falta de coherencia contradicciones, debidas a la no incorporación de los parámetros químicos y físico-químicos.

Esta incoherencia en la optimización de la estabilización se observa también en las conclusiones contrarias a que llegan los autores citados. Mientras que en el capítulo indica que la estabilización con cemento Pórtland de los suelos arenosos se debía seguir con el grado óptimo de humedad, dado por el ensayo **proctor**, en Earth Construction¹²⁰ se establecía un grado menor de humedad que el que correspondía al punto óptimo (TEO.)

Por el contrario en el caso de suelos arcillosos los autores se contradicen, el primero afirma que la relación más idónea entre humedad y densidad, se encuentra por debajo del óptimo (TEO) y el segundo autor afirma que por encima.

Otro autor Felt¹²⁰ también afirma que la humedad óptima para suelos arenosos está por debajo del TEO del ensayo proctor de compactación y en suelos arcillosos por encima. Es una guía estándar para la evaluación de la efectividad de los compuestos químicos para la estabilización de suelos, no referenciada hasta ahora por ningún autor, debido a ser del 1994, se presenta como el primer método de este género, hasta el momento. A pesar de ello es insuficiente para conocer la durabilidad y estabilidad de las nuevas estructuras obtenidas, ya que los análisis empleados son solamente físicos. A pesar de esto último omite algunos de gran trascendencia como la obtención de los límites de retracción, la resistencia en estado húmedo o el comportamiento ante la abrasión o el comportamiento a los efectos sísmicos.

Los factores que considera la Norma como signos de mejora y eficiencia de la estabilización son: La obtención de una granulometría más granular del suelo estabilizado, lo cual puede discutirse en función de que método de disgregación de muestra se haya utilizado; la reducción de la humedad óptima requerida, la LL y el IP(ello se contradice con que al aumentar la cantidad de estabilizante aumenta la humedad); el incremento de la densidad seca y un incremento mínimo en la resistencia a compresión de 345Kpa(factores muy discutibles según que tipos de arcillas o estabilizantes estemos utilizando.)

Carlos de Souza Pinto^{¡Error! Marcador no definido.} -Stanton-Hveem y Beatty¹²¹ simplifican estos factores, ya que determinan que la densidad es vital para la obtención de buenas resistencias en el suelo-cemento.

A pesar de ello se especifica en el libro "Construcción con Tierra"^{¡Error! Marcador no definido.}, capítulo estabilización, o por C. Fernández, los resultados de las estabilizaciones con cal y cemento varían según la naturaleza de los minerales arcillosos presentes, por lo cual será indispensable establecer un método donde se consideren para establecer la estabilización óptima.

Inexistencia de la utilización de pautas de diseño sostenible

¹²⁰ Factors influencing some of the physical properties of soil-cement mixtures. Aut. Felt, B.J Edit. Chicago, PCA, 1955.

¹²¹ Progress report on California experience with cement treated bases. Aut. Stanton T.E, Hveen F.N, y Beatty J.L. Edit. Highway Research Board, Proc. 279-295. 1943

Al considerar las conclusiones sobre la actual situación medioambiental y de desarrollo, en la Introducción de la presente Tesis, se deduce que es indispensable que cualquier proyecto en tierra siga, hoy en día, pautas de diseño sostenible.

Evidentemente cuando empezó el desarrollo moderno de este tipo de construcción, en la década de los setenta, la conciencia ambiental se limitaba al problema energético derivado de la refrigeración y calefacción de los edificios. Ello evolucionó desde formas de construir y proyectar englobadas en conceptos de "Vivienda Autónoma" o "Arquitectura Bioclimática", hacia otros que ya integraban la problemática habitacional de los países del Sur, como "Tecnología apropiada", "Materiales Alternativos", "Soft Technology" o "Low Cost Housing".

Aún y así, no se evitaba que en muchos proyectos construidos con "tierra", apareciesen materiales sintéticos, derivados generalmente de recursos no renovables como el petróleo. En ese momento, no fue motivo de preocupación la toxicidad de sus componentes volátiles y de los lixiviados de sus residuos, o la emisión a la atmósfera de CFCs, CO₂ y de gases sulfurosos. Ello explica que la mayoría de los autores los recomendaran como estabilizantes físico-químicos de las arcillas, sobretodo para mejorar la capacidad hidrofugante.

Dentro de esta gama de estabilizantes poco saludables se encuentran los compuestos aminos, las aminos cuaternarias, las resinas fenólicas, y el asfalto. Igualmente en los casos de reciclaje de cenizas provenientes de la siderurgia y las centrales energéticas, debería valorarse el grado de radioactividad residual que persiste en la mezcla con la tierra.

A pesar de ello podría darse el caso de que ciertos estabilizantes orgánicos al ser mezclados con arcillas pudieran dar estructuras estables sin emitir ningún tipo de sustancia perjudicial. Prueba de ello son los estudios sobre compuestos órgano-arcillosos de J. Benayas y F. Velasco¹¹⁸, y experiencias propias en la utilización como hidrofugante de aceite de coche reciclado, el cual dejaba de oler al entrar en contacto con la tierra.

Es a partir de la década de los noventa, cuando distintos autores empiezan a referenciarse a la tierra como solución constructiva sostenible y saludable: ". les materias de Terre partenaires du developpement durable..." (J.Colzani Centre de Terre.Lavalette)

" La tierra tiene futuro si contamos con los consumos energéticos: una tonelada de tierra estabilizada con 4% del cemento supone un consumo de 55 termias, frente a las 170 del hormigón, las 700 de la cerámica o las 7.800 de la lana mineral." (Dr. Julián Salas ref.385/396 IETCC)¹¹⁹

" De lo Ecológico a lo Sostenible.

.....estos argumentos abogan por la necesidad de soluciones alternativas, en particular del uso de la tierra sin cocer: materia prima abundante, económica y reciclable como ninguna otra." (A.Hays Arqto.)¹²²

" Por ser la tierra un material ecológicamente limpio la producción masiva de viviendas no llegaría a producir daños ecológicos" (J.L Olarte)

¹²² Tendencias actuales en la Geo-Arquitectura Aut. Alain Hays y Silvia Matuk.Arquitectos. CRATerre América Latina

No es válido actualmente tomar la decisión de ejecutar un proyecto con tierra estabilizada sin considerar la bioclimática, el consumo energético, y la salubridad de los otros materiales que entran en juego en el proceso constructivo. Los técnicos deben mejorar el diseño en base a una visión más holística de todos los factores que condicionan el hábitat humano, y que en último término es Gaia, el "Planeta Tierra".

Propuestas que ofrece la tesis.

Como se habrá podido observar, en el estudio y crítica de estos antecedentes, la construcción con tierra es de enorme complejidad por la variabilidad de las cualidades de las tierras disponibles, por el gran número de procesos constructivos y estabilizantes utilizables, y por la falta de sistematización en su análisis y elaboración.

Estos tres factores conllevan una enorme dificultad para que cualquier técnico decida construir con tierra estabilizada, pueda alcanzar un grado de optimización y mejoramiento tecnológico como se lleva a cabo en otras técnicas constructivas. El número y diversidad de Normas citados hace inviable su manejo por los Arquitectos, los cuales en última instancia son los responsables de los materiales que se utilizan en un proyecto.

No es lógico que, siendo la Tierra el material utilizado en un tercio de las viviendas del Planeta, y representando uno de los materiales de menor impacto ambiental, y capaz de solventar la problemática de la vivienda y la sostenibilidad, se vea inmerso en esta enorme complejidad que lo aleja de cualquier control y desarrollo industrial.

Por esto la Tesis propone un método sencillo, pero a la vez completo, para construir con tierra de manera efectiva y sostenible, de modo que garantice las prestaciones arquitectónicas buscadas y su durabilidad.

Este método debe integrar el conocimiento de la físico-químico de las tierras, de los estabilizantes y de los aglomerantes, entre ellos las arcillas, con los conceptos de diseño arquitectónico con tierra. Es decir, es el diseño de las macro estructuras desde el micro estructuras, en una síntesis pluridisciplinar de la Geología, la Química, la Mecánica de suelos, la Ingeniería y la Arquitectura.

A partir de los antecedentes expuestos y de los trabajos experimentales realizados la Tesis condensa todos los análisis y normas de los antecedentes, interrelacionándolos, y así obtener resultados de optimización con menor desviación.

Por un lado se propone una **guía metodológica práctica para diseñar y construir una edificación sostenible construida con tierra**, y así poder cumplir una serie de normas arquitectónicas mínimas indispensables para garantizar la estabilidad del diseño, las cargas y coeficientes de seguridad adoptados, y su durabilidad.

Esto se dará a partir de la obtención primeramente de un material base con una calidad específica, que cumpla con unas condiciones propuestas de durabilidad, resistencia, y aislamiento.

El método se centrará en mayor grado en la ejecución **de bloques de tierra estabilizada BTC**, al representar estos el sistema más idóneo para llevar a cabo una evolución más rápida y profunda de la construcción con tierra, y ponerla a la altura del resto de las

tecnologías actuales. Ello es debido a que:

a.) La ejecución del bloque en máquina permite obtener un material más homogéneo, ya que se mantiene una presión de compactación constante y alta. En el caso de los sistemas de fabricación manual, el desgaste físico al final de la jornada repercute en un descenso de la calidad de compactación del bloque o el adobe.

b.) La calidad en cada pieza por compactación mecánica se refleja en la obtención de aristas más durables y resistentes, caras sin coqueras, y altas resistencias, siempre en comparación a otros sistemas de construcción con tierra. Por ello se obtiene un mejor acabado para ir colocado a cara vista, comparable a la fábrica tradicional de ladrillo. Esto influye directamente en un ahorro considerable en revocos, que a su vez nunca llegarán a ser tan durables como el mismo bloque compactado y estabilizado.

C.) Se disminuye la proporción de agua de amasado y el porcentaje de estabilizantes necesarios para la obtención de un mejor comportamiento a la retracción y al agua, y para aumentar las diferentes resistencias mecánicas de la tierra utilizada. Permite incluso en ciertas máquinas limitar la estabilización a la superficie del bloque. Todo esto repercute en una disminución de las fisuras en el muro ya que la contracción se efectúa durante el secado en cada bloque, el cual es mucho más rápido, permitiendo inclusive un almacenamiento inmediato, repercutiendo en no necesitar un área de fabricación y secado tan grandes.

D.) Permite un mayor grado de producción e industrialización, lo cual hace posible una disminución de salarios, y una mayor distribución regional del BTC, al haber la posibilidad de fabricarlo en plantas industriales y suministrar el material en zonas donde no se dispone de espacio para fabricarlos in situ o no dispongan de tierras con una calidad mínima para construir. Los rendimientos son altos¹²³ (200-1500BTC/hora), lo cual repercute directamente en la obtención de un precio asequible y más acorde al mercado de la construcción actual, sobre todo en los países del Norte donde la mano de obra es cara. Esto difiere de los datos expuestos en la tabla comparativa expuesta en Construir con tierra. Cra Terre Pág.208 donde el autor afirmaba que la tapia pisada estabilizada tenía un rendimiento dos veces superior al BTC, o un 20% al adobe. Nuestra propia experiencia en la ejecución de tapial nos ha dado rendimientos de 0.5m³/trabajador día, considerando inclusive la preparación y mezcla de la tierra, resultando un rendimiento y coste mayor que con BTC, incluso si este está ejecutado en prensa manual.

e.) Este sistema constructivo permite integrar en su proceso industrial, de forma sencilla, el reciclaje de los derribos de construcción y de los mismos bloques defectuosos.

f.) Asimismo el proceso de ejecución permite fabricar bloques con formas especiales: con huecos, machihembrados, encajes, desagües, tejas, bovedillas,...

g.) Se tiene un grado de dificultad de ejecución bajo, en comparación al tapial, y al adobe en menor grado. La construcción en mampostería permite un control permanente

¹²³ Disseny de BTC amb terres de les comarques Gironines. PFC Sara Poch. Tutor Gabi Barbeta UdG 1997

en la ejecución de los BTC y de la elevación de los muros. También permite rectificar los errores y facilita una mayor libertad y flexibilidad en el diseño arquitectónico.

Se proponen a continuación las siguientes vías experimentales y sus objetivos para llegar a concretar el método operativo para esta técnica constructiva específica:

Vía experimental arquitectónica

▫ Demostrar prácticamente con valores cuantitativos experimentales los insumos energéticos de los materiales empleados en proyectos construidos en Tierra, para así crear una escala de valoración del grado de sostenibilidad alcanzado en los proyectos arquitectónicos.

* Demostrar la posibilidad de construir con BTC en nuestro país, en simbiosis con otros materiales y tecnologías ecobioconstructivas.

Vía experimental de laboratorio, sobre las tierras empleadas en los proyectos arquitectónicos anteriores.

▫ Influencia del tipo de arcilla sobre la resistencia y durabilidad de la tierra estabilizada, en igualdad de condiciones de laboratorio.

▫ Infiere del tipo de estabilizante sobre la resistencia y durabilidad, y evaluar la cantidad idónea para la ejecución de BTC de alta calidad.

¹Primeros resultados del trabajo de investigación sobre la tierra como material de construcción, en el IETcc. Aut Juan Díaz Romeral, M^a Jesús Guinea, Erhard Rohmer y Julián Salas. CSIC.

“La Tierra, material de construcción”, Informes de la construcción. Vol. 37 n° 377 Edit. Instituto Eduardo Torroja, 1986.

² “Earth Construction. A comprehensive guide.” Aut. Hugo Houben y Hubert Guillaud. Edit. Intermediate Technology Publications London 1994.

³ “ 7a. Conferência Internacional sobre o Estudo e Conservação da Arquitectura de Terra” Terra 93..DGEMN, Lisboa, 1993.

⁴ “Contra el hambre de vivienda”, J.Salas Serrano. Escala Bogotá, 1992.