

DESIGUALDAD, COOPERACIÓN Y TECNOLOGÍAS PARA EL DESARROLLO

Ecoestructuras

# Ecoestructuras

Guillermo Rus Carlborg

[grus@ugr.es](mailto:grus@ugr.es)

[www.ugr.es/~grus](http://www.ugr.es/~grus)





# Ecoestructuras

*No es tanto “cómo construir” como “cómo elegir técnicas y materiales apropiados a cada situación  
It is not so much 'how to build' as 'how to choose techniques and materials appropriate to a given situation  
Carta de un voluntario en Papua Nueva Guinea*

- Ecoestructura = tecnología apropiada (AT, Appropriate Technology),
- diseñada con consideraciones especiales de la comunidad:
  - Medio ambiente
  - Cultura
  - Social
  - Economía
- Rasgos típicos:
  - menos recursos
  - bajo mantenimiento
  - bajo impacto ambiental
  - trabajo > capital



# Ecoestructuras

*Man is small, and, therefore, small is beautiful*  
Schumacher, 1973

## ■ AT promueve salud + belleza + permanencia

### □ Schumacher, fundador del término AT

- Libro “Small is Beautiful”, 1973



### □ Economía budista:

- Basada en limitaciones de las nociones:  
“crecimiento es bueno”, “grande es mejor”
- Propone sustituir el indicador PIB por “bienestar / consumo”.



# Ecoestructuras

## Áreas de AT:

- Tecnologías de la información:
  - OLPC (MIT), The Appropriate Technology Library (1050 libros sobre tecnología hazlo tú mismo, Volunteers in Asia).
- Energía:
  - Solar, eólica, biodiesel, biogas.
- Iluminación:
  - LED (Light Up the World Foundation).
- Alimentación:
  - Pelador de nueces, ladrillo de carbón, horno solar, refrigerador vasija-en-vasija.
- Agua:
  - Recolector de lluvia, transportador Hippo roller, filtros de tela, cerámica,
- Construcción.



# Ecoestructuras

## ■ Recursos:

- Appropedia:

<http://www.appropedia.org/>



<http://www.howtopedia.org/>

- Universidades
- ONGs

## ■ Universidades que otorgan el título de AT:

- Drexel (Canadá)
- Appalachian State University (EEUU)



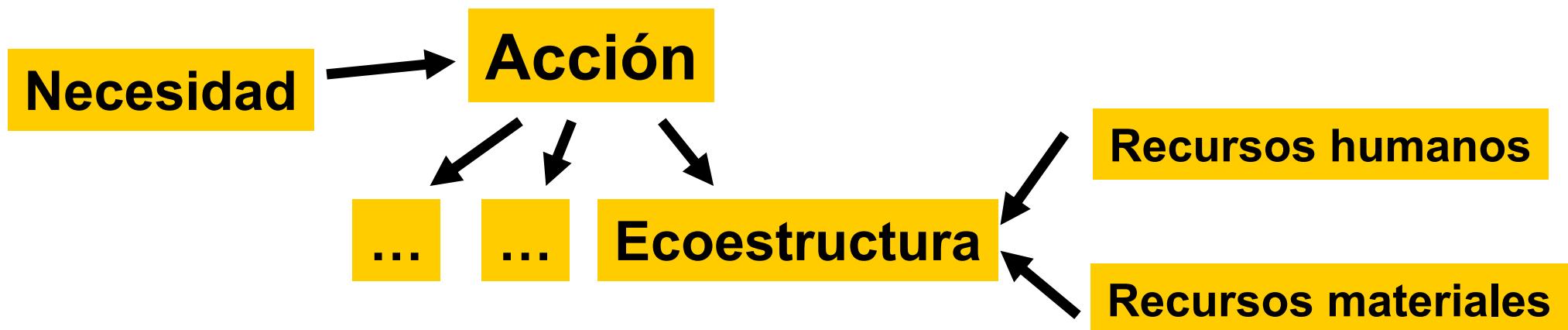
# Ecoestructuras

## ■ Criterios a verificar

Sostenibilidad	Simplicidad	Coste óptimo
Desarrollable sin ayuda	Requiere habilidades limitadas	Material
Resistente al fuego	Fácil reparación	Mano de obra
Ampliable	Fácil de copiar	Transporte
Material disponible		Maquinaria
Durabilidad		



# Ecoestructuras



## ■ Fases:

1. Identificar necesidades
2. Capacitar
3. Diseñar
  - elementos estructurales
  - materiales
4. Implantar
5. Evaluar



# Identificar necesidades

- Enfoques:
  - Cuantitativo: Indicadores y determinantes sociales
  - Cualitativo: Percepciones de la comunidad, expectativas, deseos, miedos, cultura
- Tipos de necesidad [Bradshaw]:
  - Sentida: percepción de sus problemas y de lo que tienen
  - Expresada: parte de la sentida que genera una demanda
  - Normativa: definida por el experto: depende de conocimientos existentes y valores de los expertos
  - Comparativa: presupuesta en una población porque se ha determinado en otra población parecida
- Priorizar (método Hanlon, diagrama de Pareto, Ishikawa, ...)
- Inventariar recursos
- Delimitar objetivos
- Anticipar dificultades
- Planificar



# Identificar necesidades



# Antropología aplicada - Historia

## ■ 1956-71 Ortodoxia

- 50s: Objetivo: crecimiento **económico**
- 60s: Objetivo: desarrollo **social** = precondición del económico

### Ayudar a técnicos a entender

- costumbres,
- percepciones y
- deseos de cada grupo étnico

### Proyecto [Adams]:

- Análisis etnográfico: prever situaciones de la acción
- Acción: reformadora o revolucionaria
- Después de la acción: consecuencias no previstas



# Antropología aplicada - Historia

## ■ 1972-80 Revisión

- Teoría de la **Dependencia** (marxista)
- Prioridad = necesidades **básicas**

□ Proyecto [Kottak, Cernea “científicos sociales en el desarrollo”] :

- Identificación
- Preparación
- Evaluación
- Implantación
- Supervisión (lleno de datos)
- Evaluación



# Antropología aplicada - Historia

## ■ 1980s Consenso de Washington

- Programas de **ajuste estructural**
  - ONG
  - Organismos internacionales
- Reconocimiento de la comunidad y saberes locales
- Proyectos **pequeños**



# Antropología aplicada - Historia

## ■ 1990-hoy Discurso alternativo

- ONG
- Organismos internacionales
- Banco mundial
- Desarrollo sostenible [Conf. Desarrollo y M.A., Río, 1992]:
  - Preocupación: excesiva explotación de recursos planetarios
  - Desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades
- Desarrollo humano [PNUD]:
  - Desarrollo = expansión de capacidades de personas (elegir su modo de vida)
  - Por qué el capital físico depende del humano
- El sur revisa el concepto de desarrollo
- Teorías WCD (Women, Culture, Development):
  - Cultura (relaciones producción ↔ reproducción ↔ agencia) es central, a lo largo de aspectos económicos de etnicidades genderizadas.



# Antropología aplicada

## Aprendiendo de los errores

Auxilio en terremoto de Guatemala (72) y Nicaragua (76) [Norton, 1980]

- “se ha distribuido demasiada ayuda; se han construido excesivas casas del modelo de emergencia; algunos organismos han utilizado un número excesivo de voluntarios extranjeros; se han hecho demasiadas cosas bajo presión y sin una consulta adecuada de forma que las víctimas se convirtieron en simples espectadores de la tarea que se realizaba y no participaron en ella; se realizó una gran parte del trabajo de reconstrucción sin consultar previamente con el Comité de Reconstrucción del Gobierno...”
  1. Presupone necesidades uniformes – desigualdad hacia los necesitados
  2. Ignora recursos anfitriones – los debilita
  3. No moviliza economía local – empobrece
  4. Ignora población circundante – división social
  5. Crea oportunidades de corrupción



# Principios de Intervención y planificación

- Tomar como criterio de decisión las prioridades del ayudado
- Apelar a responsabilidad del ayudado
  
- Transportes (puentes, carreteras):
  - Prioridades: eficiencia y fiabilidad de logística
  - Coordinación multimodal (acceso a mayor abanico social)
  - Eliminar cuellos de botella
  - Pensar en qué vehículos deseamos promover (ej: ¿pobres = no motorizados?, ¿bicicleta?)
- Infraestructuras:
  - Crecer sosteniblemente:
    - infraestructura local para aprovechar recursos locales [contraejemplo: programa Polonoreste, Brasil 1980].
    - financiar incentivando resultados, en lugar de inyectando.
  - Mantenimiento de lo existente:
    - Consorcios de mantenedores locales [Parana, Brasil]
    - Formar ingenieros en mantenimiento localmente [Rio Grande do Sul, Brasil]
  - Reducir pobreza:
    - orientados a pobres
  - Promover inclusión social:
    - descentralización, localización



# Identificar el problema / necesidad

- Hipótesis
  - Investigar OBC, Comerciales, ONG, Instituciones
    - Identificar posibles mejoras
    - Apalancar mejoras
- Métodos
  - Revisión bibliográfica
  - Entrevistas semiestructuradas en comunidades
  - Grupos de discusión focal con individuos diversos en:
    - Pobres de 4-5 asentamientos
    - Representantes de sociedad civil, privada, y pública
  - Procedimiento:
    - Identificar problemas en las entrevistas semiestructuradas
    - Identificar actores críticos
    - Pedir a un entrevistado que represente a los demás e identifique problemas
    - Abrir un foro en el que se confronten dichos problemas ante el representante
    - El entrevistador hace circular una nota resumen entre los participantes
  - Análisis:
    - Comparación (similitud/diferencia de patrones) de entrevistas entre distintos grupos
    - Tabulación de datos numéricos
    - Resumen y estructuración (para permitir comparaciones posteriores)
  - ¡¡¡Involucrar a los actores!!!



# Identificar el problema / necesidad

## ■ Ejemplos de aspectos a observar:

- Accidentes
- Medio ambiente
- Asentamientos informales
- Género
- Reforma institucional (repartir planificación y responsabilidades)
- Generación de capital
- Mecanismos de consenso: ONG, OBC (O. Basadas en Comunids.)
- Corrupción
- Culturas
- Etnias
- Valores
- ...



# Capacitar



# Capacitar

- Capacitar: “*no dar la caña sino enseñar a pescar*”
- Objetivos:
  - Principios mecánicos: cargas estáticas y dinámicas
  - Criterios de selección
  - Abanico de diseños y herramientas
  - Diferente al perfil de ingeniero estructural: formación 4-5 años + 3 de prácticas + licencia por una institución: concentrado en elementos estructurales (pilar, columna, forjado) o ingeniero responsable de la integridad global ante las fuerzas sin fallar a colapso o servicio
- Compromiso entre dependencia de conocimiento técnico y capacidad de aprendizaje: manuales
- Integración de tradiciones = conocimientos sostenibles
- Empoderamiento:
  - Obtener de habilidades y conocimientos para tomar decisiones informadas.
  - Requiere:
    - socializar el conocimiento científico – técnico
    - Resistir las presiones del medio.

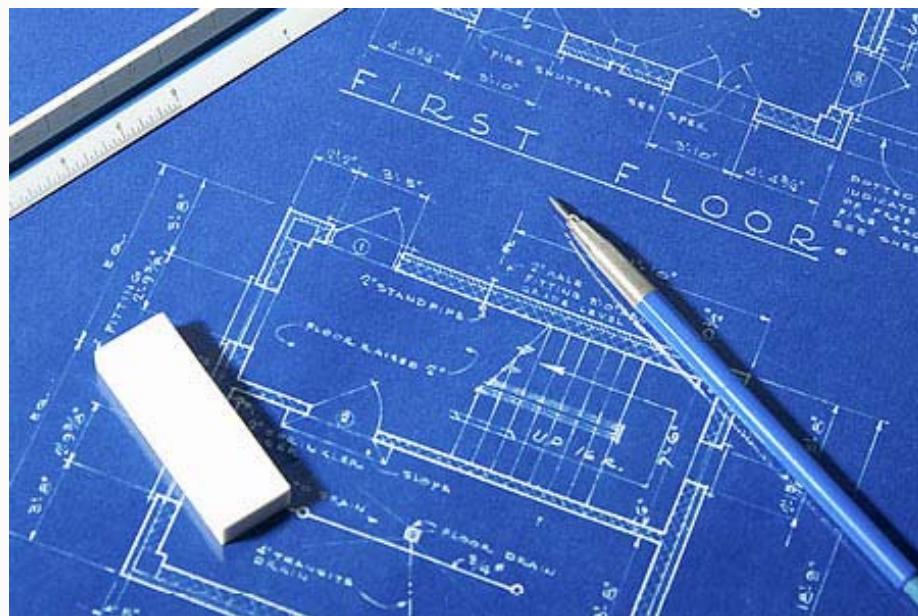


# Capacitar

- Propuesta de contenidos (desde 1 año TP):
  1. Resistencia de materiales
  2. Software básico de cálculo estructural
  3. Materiales de construcción
  4. Procedimientos constructivos
  5. Ingeniería de producción
- Formación previa requerida:
  1. Matemáticas: hasta conocimiento de funciones
  2. Dibujo: interpretación de planos
  3. Informática: básica



# Diseñar



# Diseñar: definición y objetivo de estructura

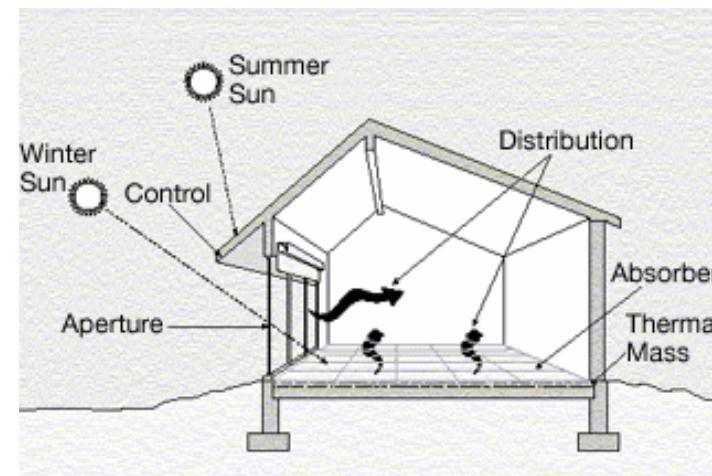
- Estructura o Ingeniería Estructural
  - Común a muchas aplicaciones: ingeniería civil, arquitectura, aeronáutica, industrial, construcción...
- Objeto:
  - Resistir cargas sin deformarse apreciablemente + transmitir y disipar energía mecánica
  - Seguridad (evitar colapso por acciones naturales/humanas + en caso de colapso, avisar)
  - Servicio (evitar incomodidad por vibraciones, deformaciones)
  - Recursos (usar eficientemente recursos: humanos y materiales = optimización)
  - Energía.



# Energía

## ■ Diseño solar pasivo – principios:

- Ganancia solar directa = radiación en zona habitada
- Ganancia solar indirecta = captación y almacenaje
  - Ejemplo: paredes Trombe = muro (captta) + aire + cristal (invernadero)
- Ganancia solar aislada = transportar calor por convección (agua, aire)
  - Ejemplo: sistema Barra = colector + termosifón (cavidades)
- Refrigeración pasiva

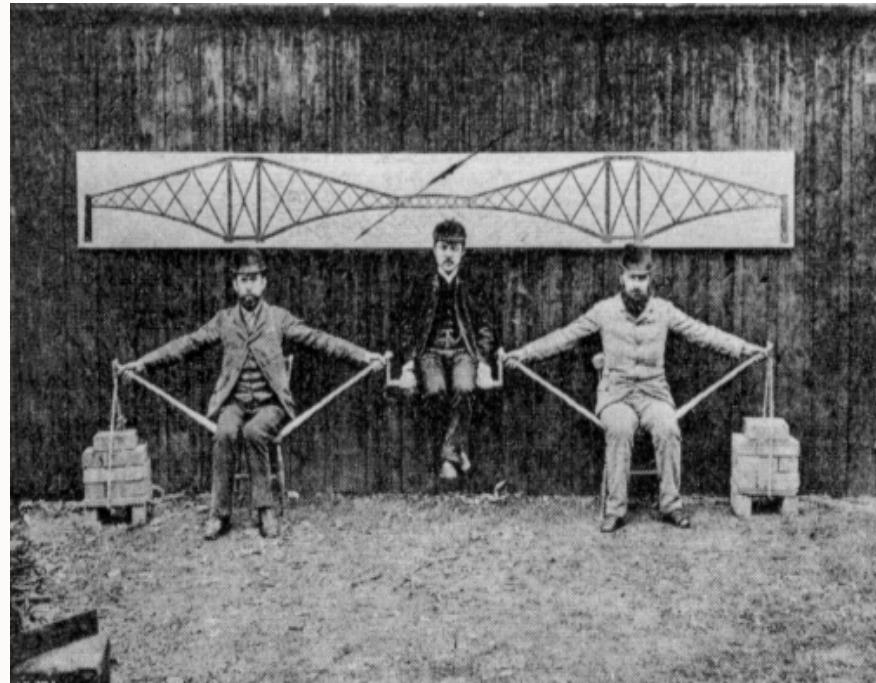


# Dónde están las ecoestructuras

- Edificación
- Puentes
- Presas
- Cimientos
- Túneles
- Contención de avalanchas
- Diques
- Tuberías, canales
- Depósitos

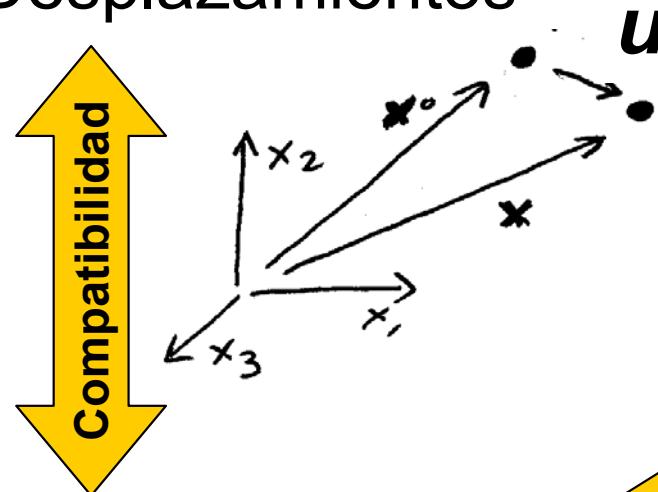


# Funcionamiento estructural

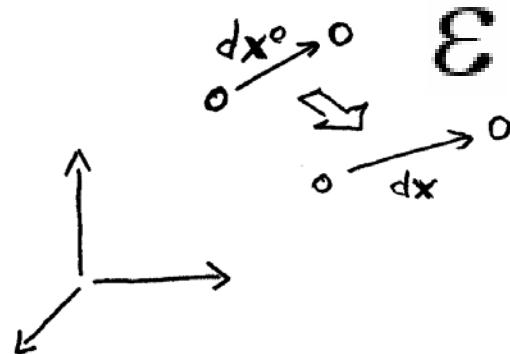


# Funcionamiento – magnitudes y relaciones

- Desplazamientos

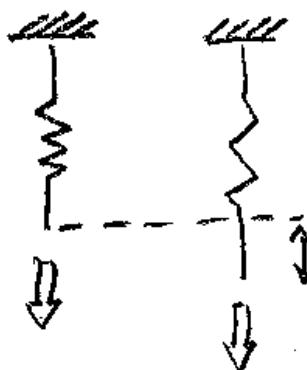


- Deformaciones

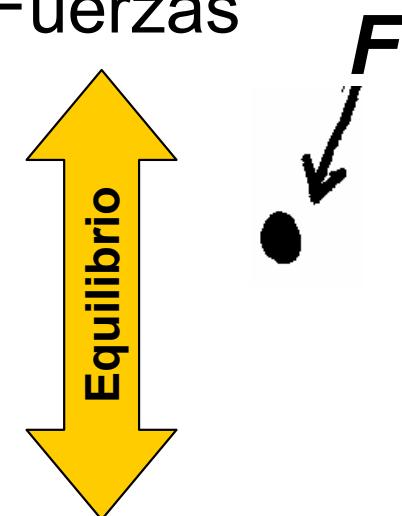


**Comportamiento**

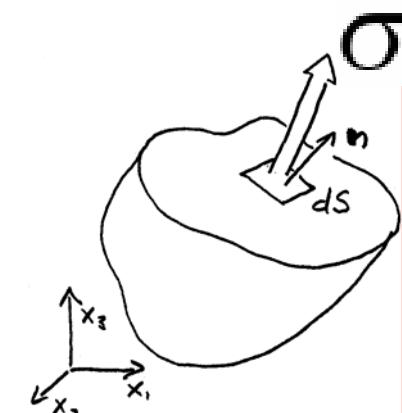
$$\sigma = E \varepsilon$$



- Fuerzas



- Esfuerzos



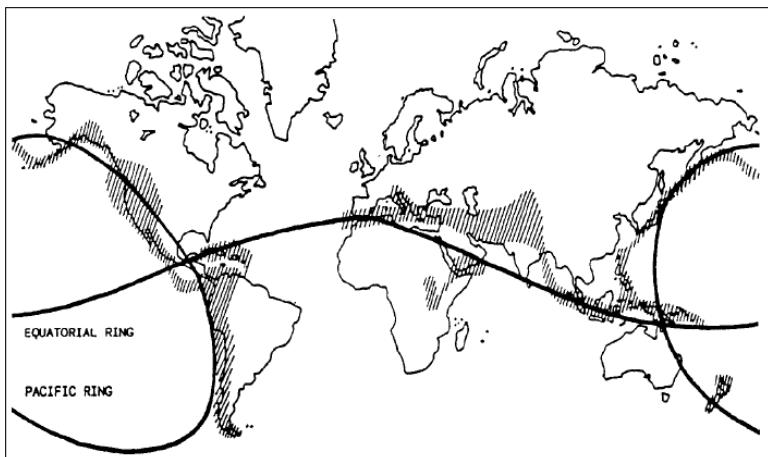
# Funcionamiento – variables ecoestructurales

- Geometría 1D, 2D, 3D ↔ elementos estructurales
- Hipótesis:
  - Desplazamientos: pequeños / grandes
  - Comportamiento del material elástico / plástico / ...
- Condiciones de contorno:
  - Cargas pueden ser dinámicas)
  - Apoyos
- Criterios de análisis: resistir modos de fallo
- Visión integrada:
  - Saludable, accesible, ergonómico, medio ambiente

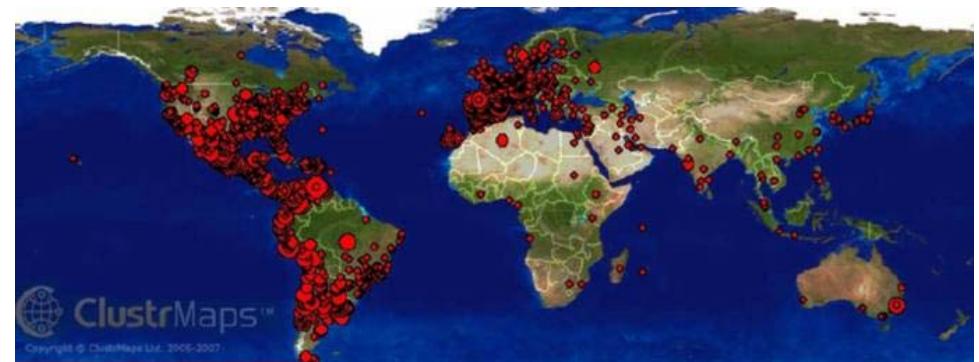


# Cargas

## ■ Sísmica



## ■ Tornado



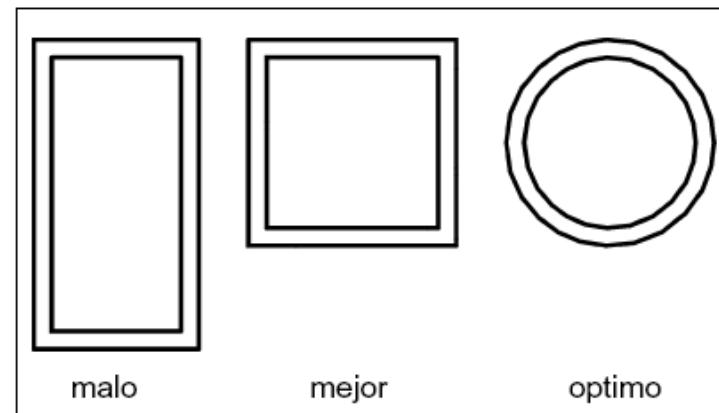
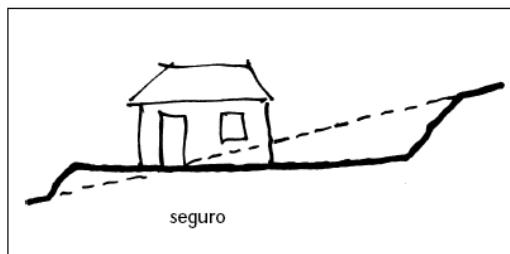
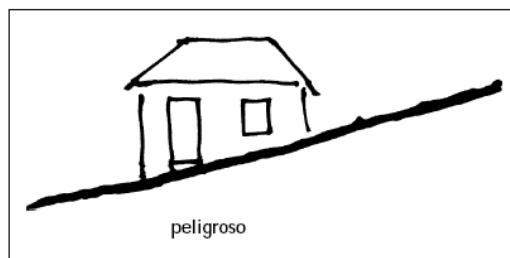
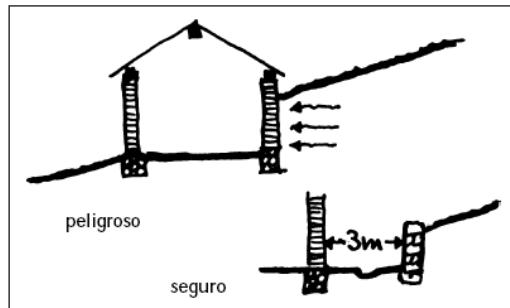
## ■ Incendio

■ ...

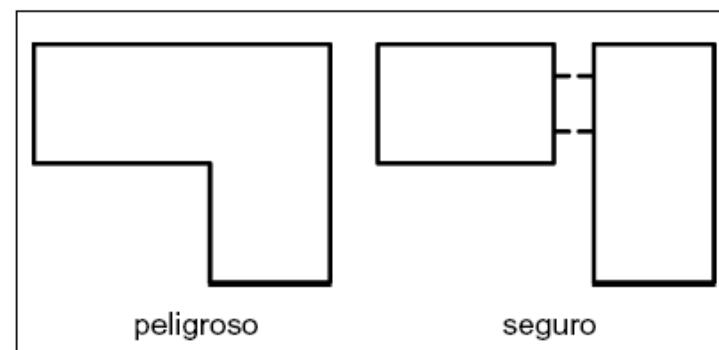


# Cargas

## ■ Algunos criterios prácticos antisísmicos



Plantas



# Modos de fallo

## Fatiga

Ruptura

Fractura

Plastificación

Pandeo

Fusión

Shock térmico

Desgaste

Corrosión

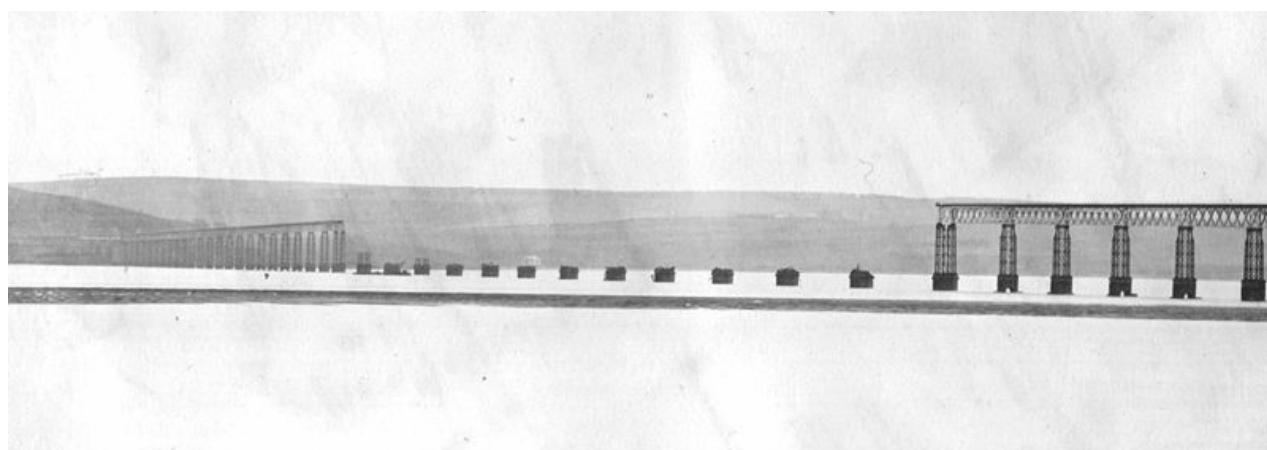
Fluencia

### Tay Rail Bridge, 1879

- 75 muertos

### Fatiga de vigas de hierro fundido

- No tomar en cuenta carga del viento
- Control de calidad deficiente



# Modos de fallo

Fatiga

**Ruptura**

Fractura

Plastificación

Pandeo

Fusión

Shock térmico

Desgaste

Corrosión

Fluencia

- Tacoma Narrows Bridge, 1940
- **Interacción dinámica viento-estructura**
  - Amplificación por resonancia a torsión
  - $\sigma > \sigma_{rotura}$



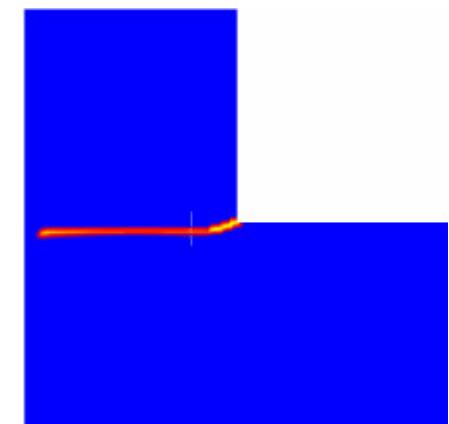
# Modos de fallo

Fatiga  
Ruptura  
**Fractura**  
Plastificación  
Pandeo  
Fusión  
Shock térmico  
Desgaste  
Corrosión  
Fluencia

- Havilland Comet, 1954
  - Primer avión comercial, 2 aviones cayeron, toda la tripulación murió



- **Concentración de tensiones**
  - en ventanas cuadradas
  - + fatiga



# Modos de fallo

Fatiga  
Ruptura  
Fractura  
**Plastificación**  
Pandeo  
Fusión  
Shock térmico  
Desgaste  
Corrosión  
Fluencia

## ■ Edificio Ronan Point, 1968

- Inducido por explosión
- 4 muertos
- Sistema de construcción:
  - Acero
  - Hormigón armado in situ
  - Prefabricado: “Large Panel System”



## ■ Redistribución de cargas

- No prevista en caso de fallo de un elemento
- Insuficiente armadura entre paneles prefabricados



# Modos de fallo

Fatiga  
Ruptura  
Fractura  
Plastificación  
**Pandeo**  
Fusión  
Shock térmico  
Desgaste  
Corrosión  
Fluencia



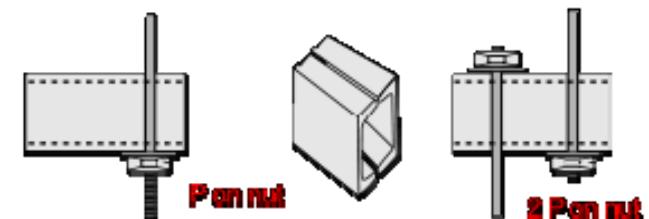
- World Trade Center, 2001
  - 2750 muertos
- **Colapso progresivo**
  - Causa: incendio provocado por combustible de avión
  - Pandeo pórtico perimetral
- Cambios en criterios de diseño ante incendio



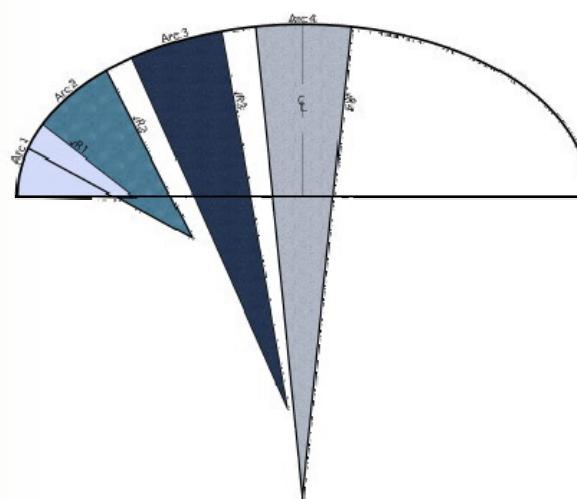
# Modos de fallo

- Fatiga
- Ruptura
- Fractura
- Plastificación
- Pandeo
- Fusión
- Shock térmico
- Corrosión
- Desgaste
- Fluencia

- Hyatt Regency, 1981
  - Colapso de la pasarela
  - 114 muertos
- La constructora realizó un cambio de diseño de última hora:
  - Duplica la carga de una viga
  - **Mala comunicación** constructor – ingeniero



# Elementos estructurales



# Elementos estructurales

Construcción  
complicada

Funcionamiento	1D	2D
Axil $(\sigma_{12}=0)$	Articulada	
	$\sigma_1 > 0$	Arco
	$\sigma_1 < 0$	Catenaria
Flexión	Barra	Lámina
		Placa



# Elementos estructurales

Barra  
Articulada  
Arco  
Placa  
Lámina  
Catenaria  
Cúpula

- Participación pública en diseño – sentirlo como suyo
- Identificar qué entienden por calidad:
  - Privacidad:
    - La zonificación del área privada logra legitimación.
  - Aceptación:
    - la construcción que ahorra costes podría provocar problemas de aceptación si los residentes y vecinos sienten que tales viviendas son de "peor calidad" (ejemplo madera vs hormigón) - construcción a coste real + no ornamentar.
  - Novedad:
    - Solución = prototipo. Ejemplo: Se organizó un apartamento prototípico seis meses antes de la mudanza general. Se diseñó para mostrar las posibilidades que ofrecían los apartamentos de ser equipados de forma confortable, funcional y barata. Muchos futuros inquilinos recibieron gratamente esta oportunidad.



# Elementos estructurales

## Barra

Articulada

Arco

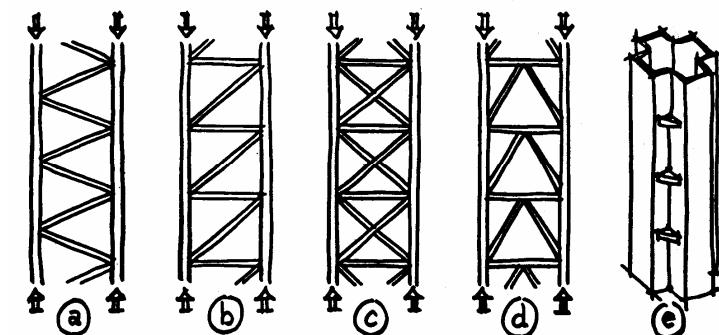
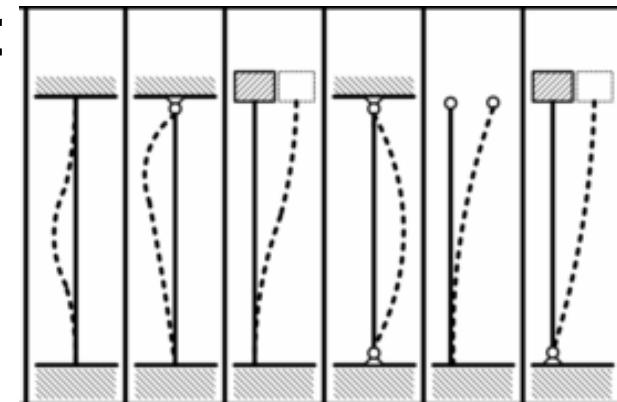
Placa

Lámina

Catenaria

Cúpula

- Hipótesis para adaptar sólido a 1D +
- Pequeñas deformaciones:
  - axil
  - flexión
- Grandes deformaciones:
  - pandeo
- Pasado límite elástico:
  - rótula plástica
- Pórtico = columnas + vigas

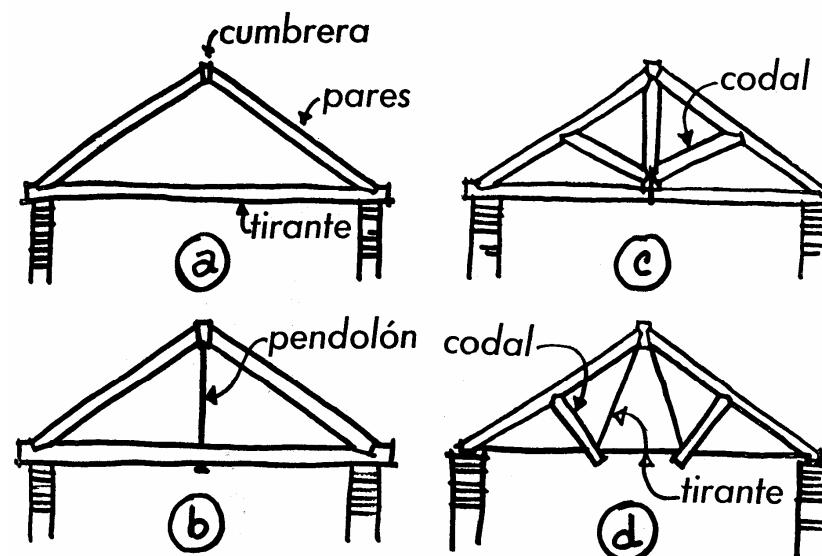


# Elementos estructurales

Barra  
**Articulada**  
Arco  
Placa  
Lámina  
Catenaria  
Cúpula

- Elementos lineales aligerados compuestos por barras a axil en disposición triangular

Pratt	
Vierendeel	
King	
Lattice	

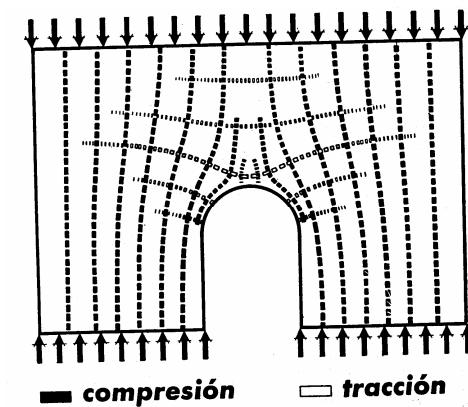
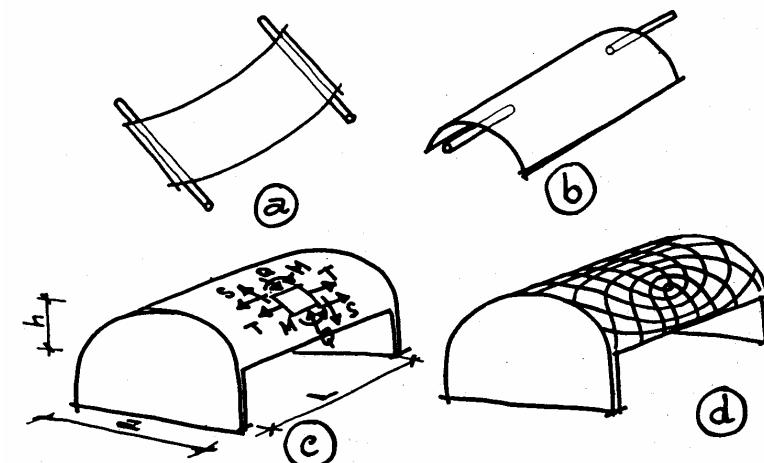
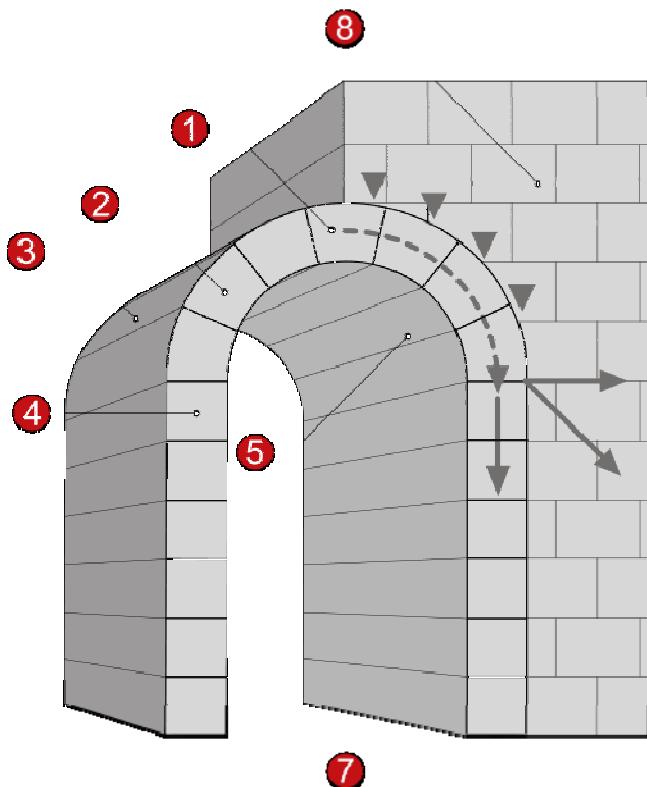


# Elementos estructurales

Barra  
Articulada  
**Arco**  
Placa  
Lámina  
Catenaria  
Cúpula

## ■ Barra con curvatura

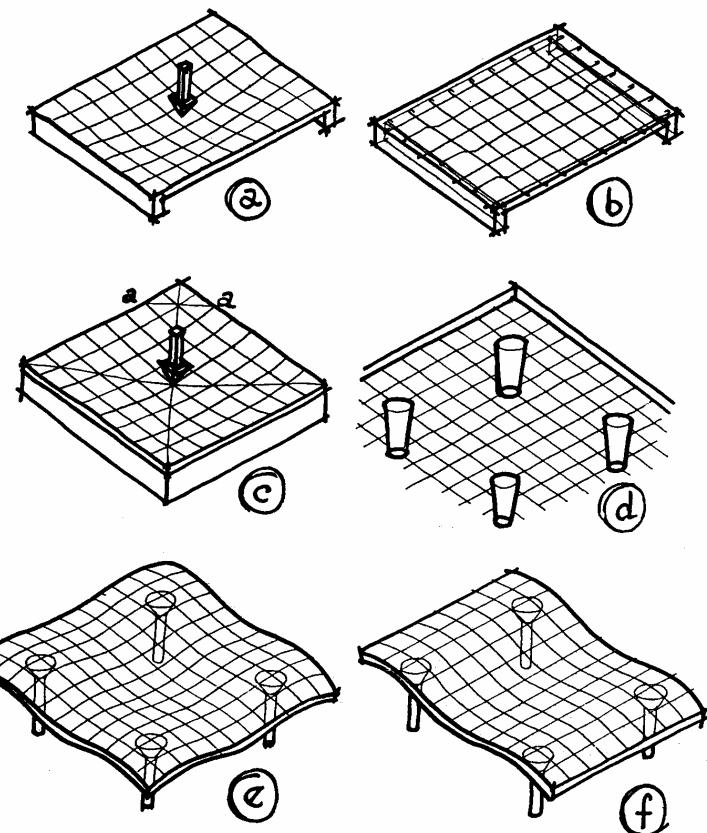
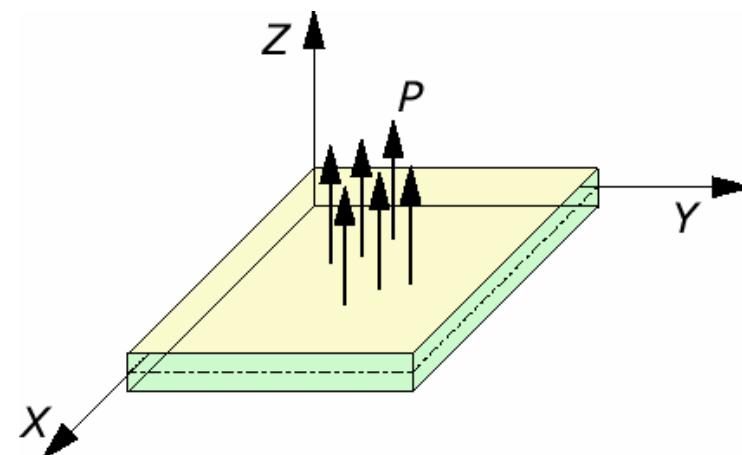
- para transmitir cargas únicamente por axil a compresión



# Elementos estructurales

Barra  
Articulada  
Arco  
**Placa**  
Lámina  
Catenaria  
Cúpula

- Versión 2D de barra
- Forjados, muros



# Elementos estructurales

Barra  
Articulada  
Arco  
Placa  
**Lámina**  
Catenaria  
Cúpula

- Versión 2D de arco
  - Puede funcionar a compresión o a tracción



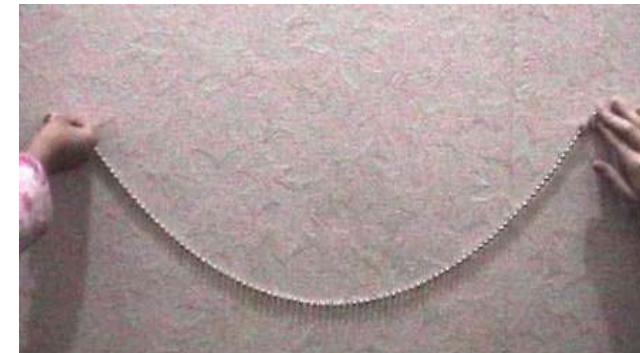
Planetario McDonnell, EEUU, 1963



# Elementos estructurales

Barra  
Articulada  
Arco  
Placa  
Lámina  
**Catenaria**  
Cúpula

- Cable = barra (1D) a tracción / sin flexión



- Textil = lámina (2D) a tracción / sin flexión
  - Adaptan su curvatura automáticamente



# Elementos estructurales

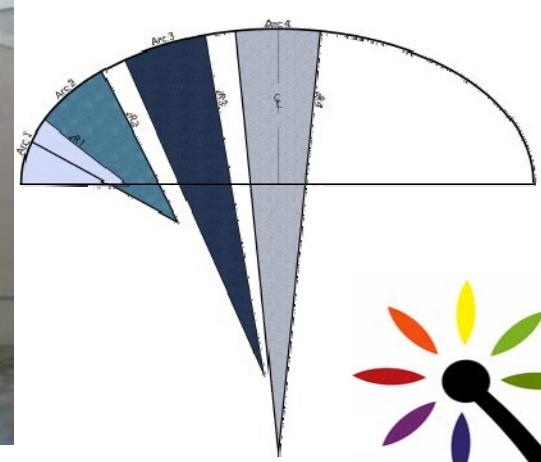
Barra  
Articulada  
Arco  
Catenaria  
Placa  
Lámina  
**Cúpula**

## ■ Procedimiento:



# Elementos estructurales – Cúpula

- Origen = Iglú
- Ventajas:
  - Arovecha efecto arco: compresión
  - Máxima resistencia sísmica
  - Máxima resistencia a tornados (aerodinámica)
  - Máximo aislamiento (área mínima)
- Inconvenientes:
  - Técnica constructiva poco habitual
  - Rechazo del usuario
- Mejoras:
  - Curvatura variable
  - Nervios rigidizadores



# Elementos estructurales – Cúpula

## ■ Sri-Lanka, 2007



## ■ Bolivia, 2005

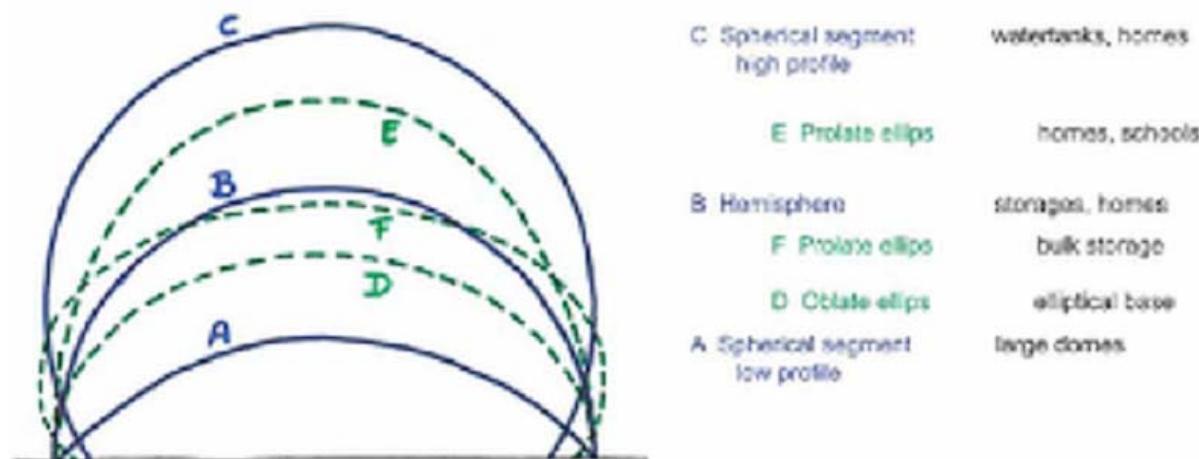


# Elementos estructurales – Cúpula

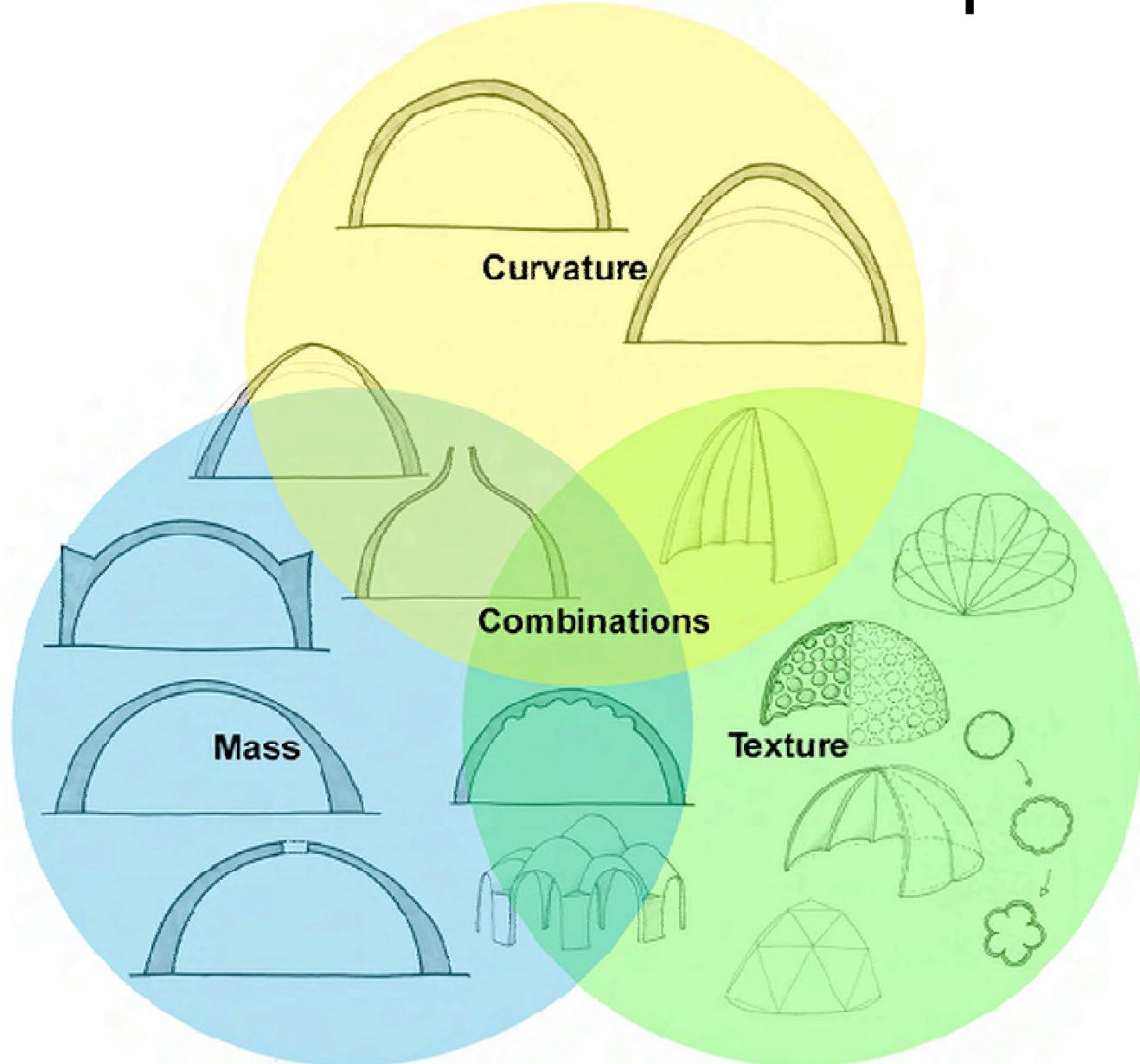
## ■ Posibles aperturas [Hennik, 2005]:



## ■ Posibles formas:

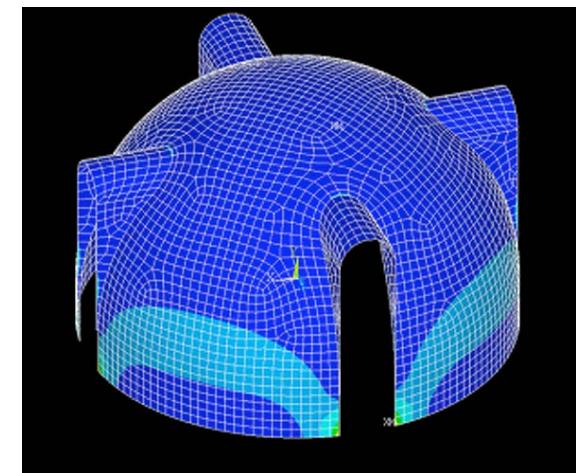
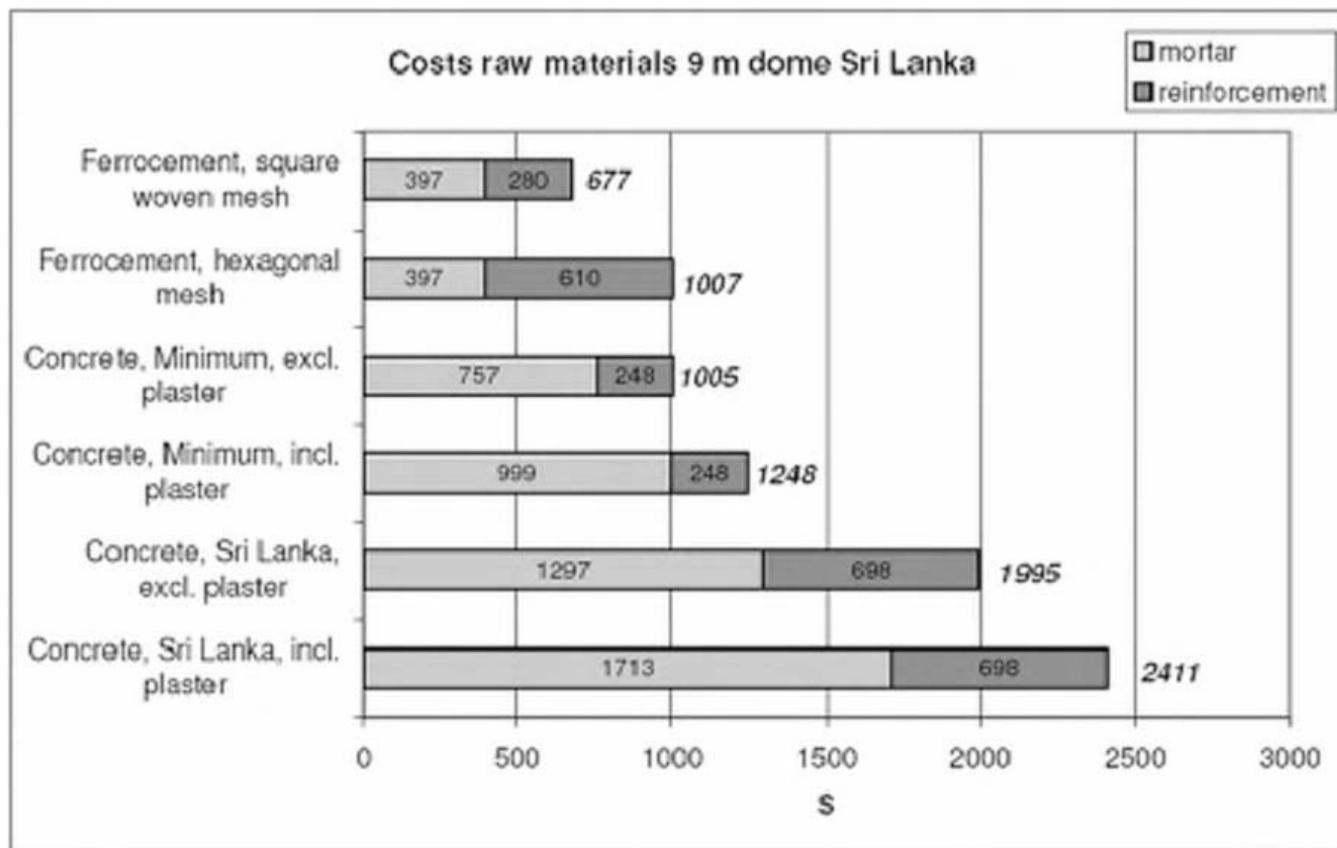


# Elementos estructurales – Cúpula



# Elementos estructurales – Cúpula

## ■ Optimización [Univ. Delft]



# Elementos estructurales – Cúpula

- Ecoláminas
- Haiti



# Elementos estructurales – Puentes

**Barra**

**Articulada**

**Arco**

**Placa**

**Lámina**

**Catenaria**

**Cúpula**

Combinación  
de varios



Arch bridge

Beam bridge

Box girder bridge

Cable-stayed bridge



Cantilever bridge

Truss bridge

Clapper bridge

Suspension bridge



Girder bridge

Log bridge

Step-stone bridge

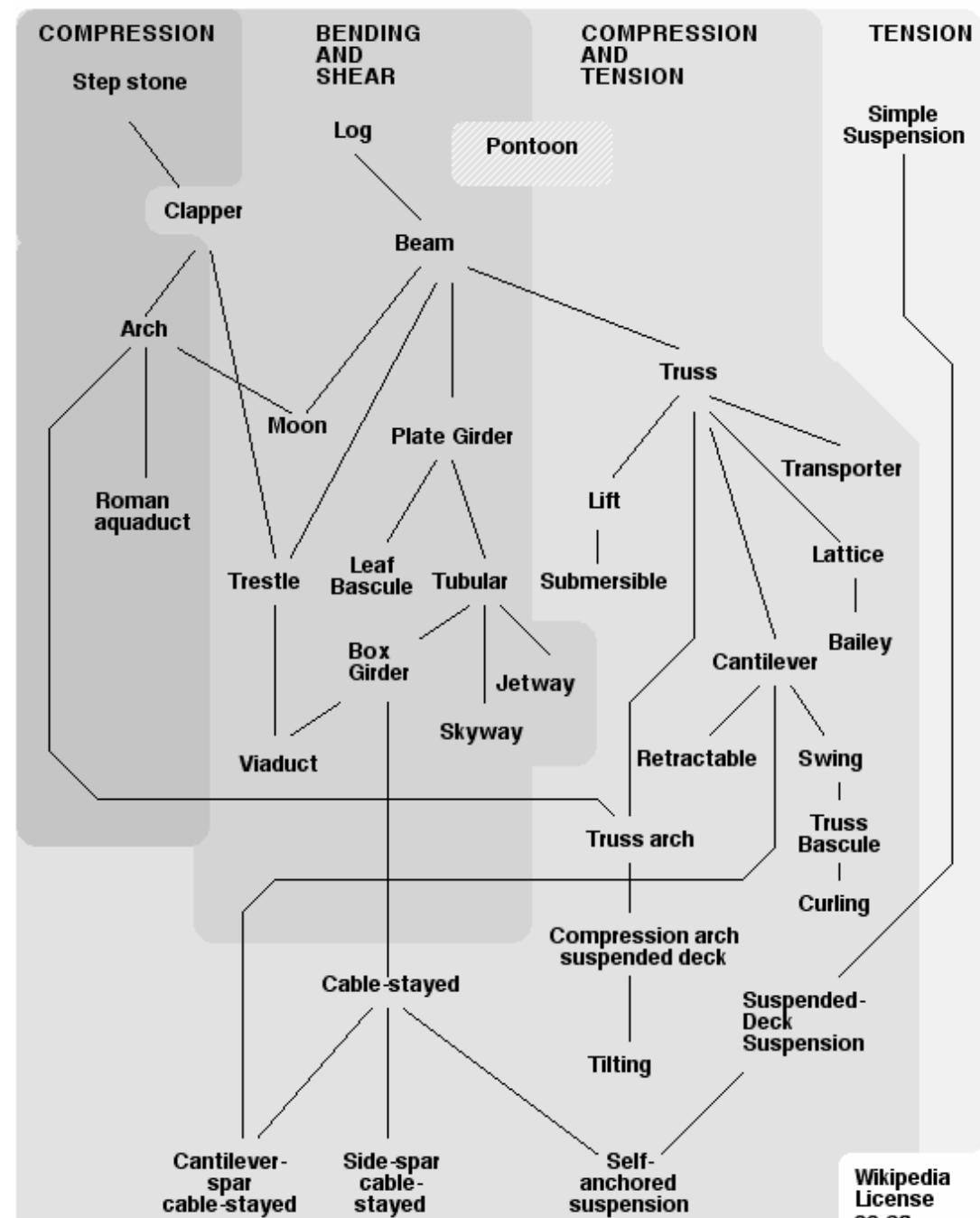
Plate girder bridge



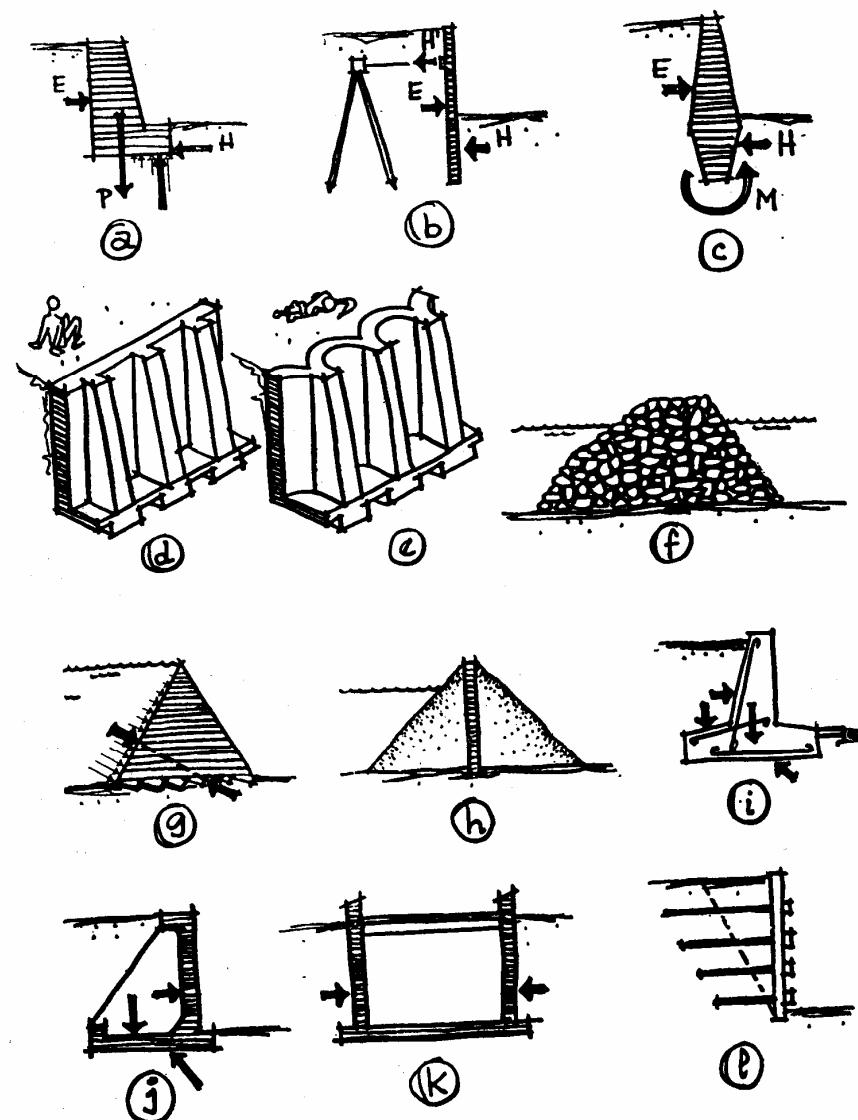
# Puentes

**Barra**  
**Articulada**  
**Arco**  
**Placa**  
**Lámina**  
**Catenaria**  
**Cúpula**

## ■ Taxonomía:

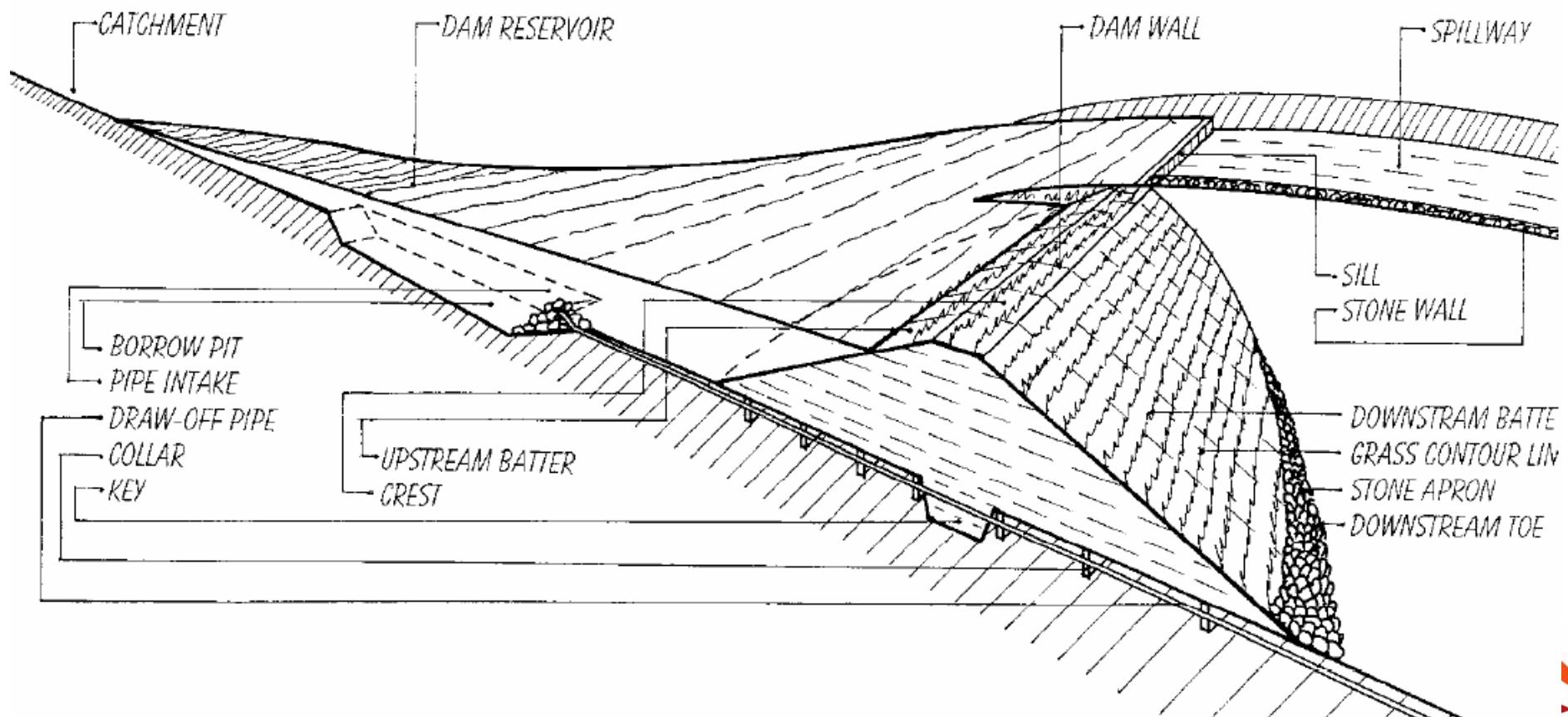


# Elementos estructurales – Contención



# Elementos estructurales – Presas

- Cuerpo: tierra + posible núcleo: arcilla



# Materiales



# Materiales

## Criterios para elegir

- Estilo y tradición – sentirlo como suyo
- Disponibilidad de materias primas – economía y transporte mínimo
- Sus características mecánicas pueden determinar la tipología constructiva (cuerdas – tracción, mampostería – compresión, bambú – ligereza)
- Propiedades aislantes climáticas, seguridad ante incendio, estética, ...



# Materiales

- Basados en tierra
  - Ladrillo
  - BTC (Bloques de Tierra Comprimida)
  - Adobe
  - Superadobe
- Orgánicos
  - Madera
  - Cáscara de arroz
  - Chamba
  - Hojas de palma
  - Fibras vegetales reforzando resina de polímero (compuesto), plywood
  - Bambú
- Basados en cemento
  - Hormigón armado
  - Fibrocemento
  - Ferrocemento
  - Pumita
- Varios
  - Hierro/acero/metales
  - Fibra de vidrio/carbono
  - Reutilizados



# Materiales – Varios

Hierro/acero/metales

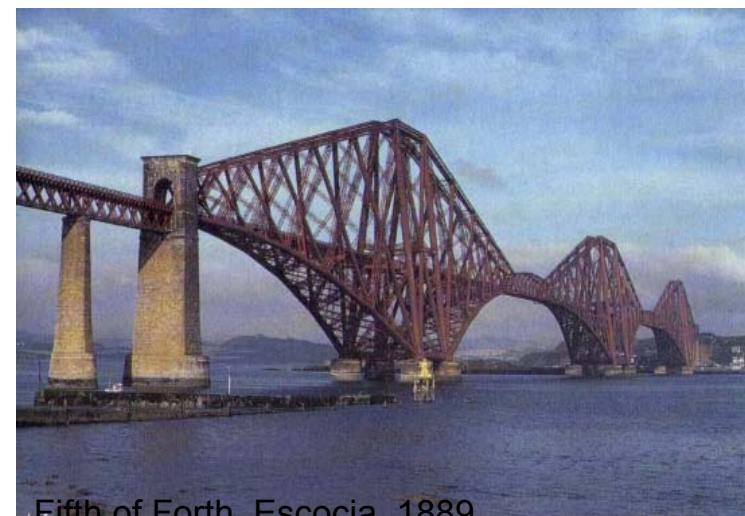
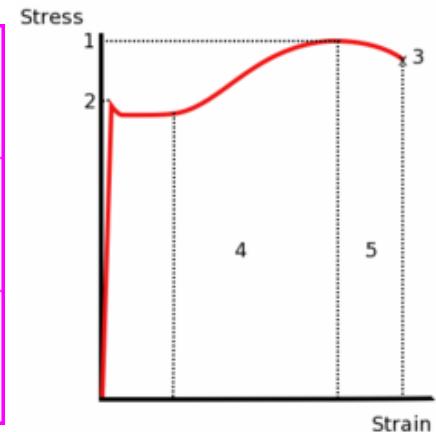
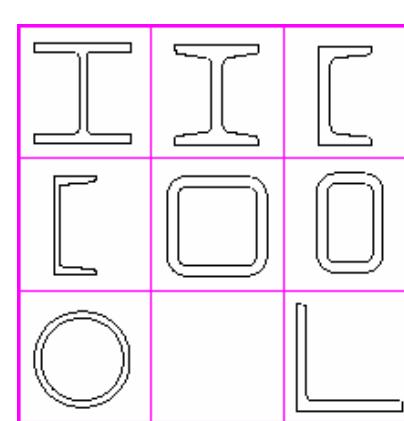
Fibra de vidrio/carbono

Reutilizados



# Materiales – Hierro

- Forjado (<0,15% C):
  - obsoleto, débil ante incendio, dúctil
- Fundido (2-4% C, 1-3% Si):
  - + resiste corrosión
- Acero (0.2-1.7% C):
  - + alto límite de rotura,
  - dúctil y sensible a corrosión
- Acero inoxidable (11.5% Cr):
  - + resiste corrosión,
  - caro



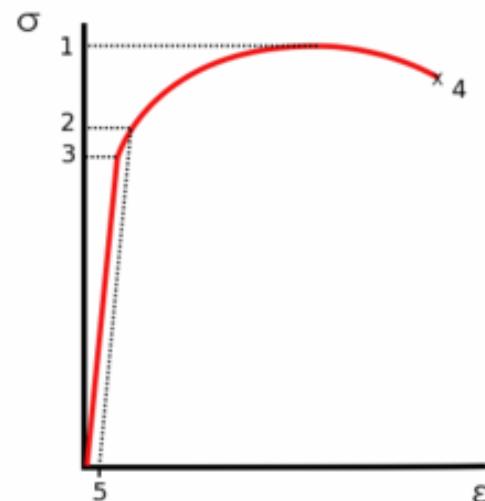
Firth of Forth, Escocia, 1889



# Materiales – Aluminio

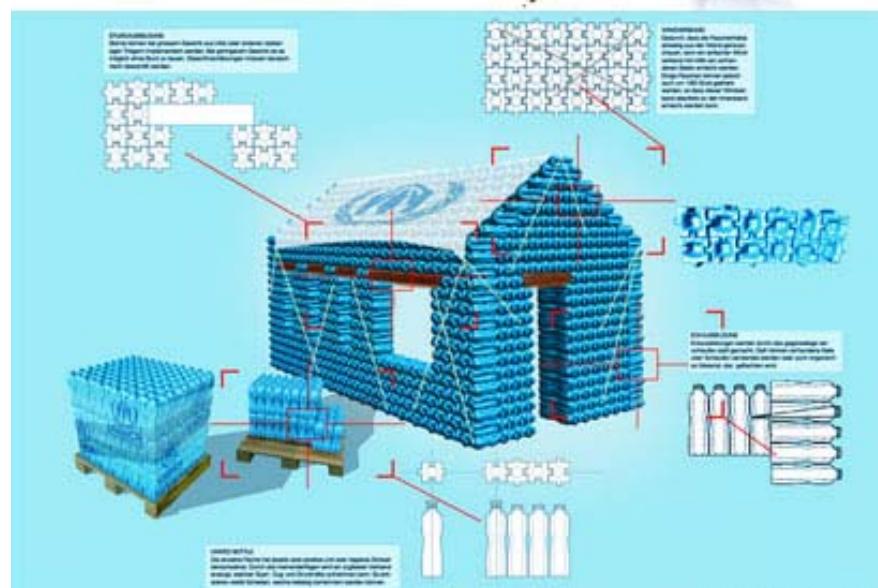
## ■ Aleación

- + ligero, resistente a corrosión,
- caro, dependencia de aluminio



# Materiales – Reciclados

## ■ Botellas



## ■ Denim



Dirk Hebel & Jörg Stollmann with Tobias Klause, Berlin, 2007



# Materiales – Basados en cemento

Hormigón armado  
Fibrocemento  
Ferrocemento  
Pumita



# Materiales – Hormigón

- Cemento + árido + agua → curado
  - + barato, resiste fuego
  - sólo resiste compresión, rompe sin avisar (frágil), requiere cementera (contamina), cálculo complicado (no lineal, fluencia, refuerzo)



Variantes:

- Reforzado con barras de acero:
  - + resiste a tracción, rompe avisando, salvo exceso de armadura
  - caro (no hay disponibilidad en muchos lugares)
- Pretensado
  - + alta resistencia
  - muy caro
- Fibrocemento
  - + barato



# Materiales – Fibrocemento

- Hormigón + fibras
  - + mejora algo el hormigón en masa
  - requiere especialización, requiere cemento
- Fibras:
  - Naturales (fruta, líber, hojas)
  - Acero
  - Vidrio
  - Sintéticas (polipropileno, etc.)



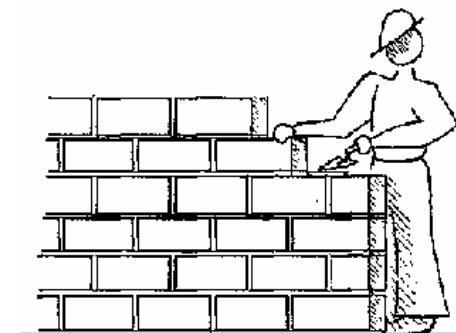
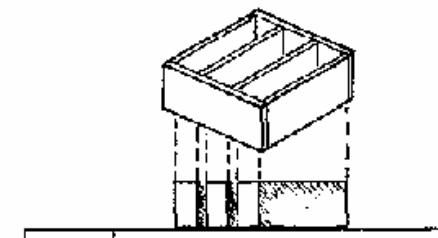
# Materiales – Ferrocemento

- Hormigón + malla de acero (infrareforzada)
  - + comportamiento isótropo, flexibilidad geométrica
  - requiere cemento
- Es muy popular para edificación, depósitos, etc.



# Materiales – Pumita

- Pumita + cemento + agua
  - + disponible cerca de volcanes
  - necesita cemento
- Puede hacerse también hormigón ligero con vermiculita, escoria, diatomita, perlita, obsidiana



# Materiales – Basados en Tierra

Ladrillo  
BTC  
Adobe  
Superadobe



# Materiales – Masonería

- Piedra



- Ladrillo + mortero

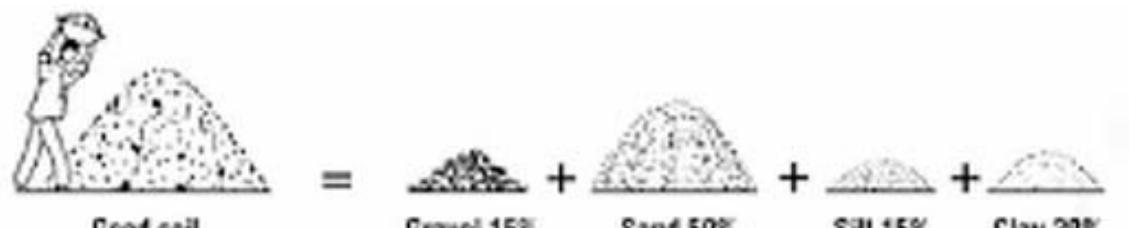


- Bloque hormigón o arcilla



# Materiales – BTC

- Bloques de Tierra Comprimida (CEB, Compressed Earth Blocks)
  - + material local, poca capacitación, no contamina, ignífugo, antiruido
  - características mecánicas irregulares
- Se pueden estabilizar (limo, cemento, sangre, etc.)
- En masa: se puede reforzar (ferralla, bambú, madera, etc.)
- Componentes:
- Propiedades:



Good soil	=	Gravel 15%	+	Sand 50%	+	Silt 15%	+	Clay 20%
Dry compressive strength at 28 days (+10% after 1 year + 20% after 2 years)								4 to 6 Mpa = 40 to 60 Kg/cm <sup>2</sup>
Wet compressive strength at 28 days (after 3 days immersion)								2 to 3 Mpa = 20 to 30 Kg/cm <sup>2</sup>
Dry bending strength (at 28 days)								0.5 to 1 Mpa = 5 to 10 Kg/cm <sup>2</sup>
Dry shear strength (at 28 days)								0.4 to 0.6 Mpa = 4 to 6 Kg/cm <sup>2</sup>
Water absorption at 28 days (after 3 days immersion)								8 to 12% (by weight)
Apparent bulk density								1700 to 2000 Kg/m <sup>3</sup>
Energy consumption (Ref. Development Alternatives 1998) (To be compared with kiln fired bricks (wire cut) = 539 MJ and country fired bricks = 5657 MJ)								110 MJ



# Materiales – Adobe

- Arena + arcilla + paja + estiércol (fibroso) → secado
  - + barato, durable, aisla térmicamente, dissipación sísmica
  - poca esbeltez (espesor), sensible a humedad
- Primer material de construcción, tras madera
  - Se puede estabilizar con cementos, pumita, aditivos



# Materiales – Adobe



## ■ Fabricación de bloques



## ■ Personalización artística de construcción



# Materiales – Adobe



- En masa  
(sin bloques)



# Materiales – Adobe



# Materiales – Adobe



# Materiales – Adobe



# Materiales – Adobe



Bóveda antisísmica de adobe reforzado con bambú



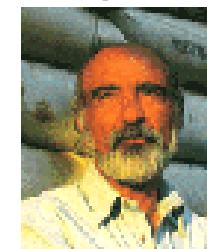
# Materiales – Adobe

- Refuerzo antisísmico – simulaciones en Univ. Sidney



# Materiales – Superadobe

- Sacos vermiformes + tierra – colmena
  - + material local, flexible, aislante, ignífugo, antisísmico
  - requiere sacos, cálculo complejo
- Inventor: Nader Khalili, 1984  
(NASA: para asentamientos en la luna y Marte)



# Materiales - Orgánicos

Madera

Cáscara de arroz

Chamba

Hojas de palma

Compuestos

Bambú



# Materiales – Madera

- Es el material más antiguo
  - + Resistente a tracción y compresión, adaptado a clima
  - Débil a flexión, fuego, cálculo complejo y variable



# Materiales – Cáscara de arroz

- Sacos llenos de cascara de arroz = ladrillos
  - + material local, muy buen aislante
- Se puede reforzar con bambú, madera, etc.



# Materiales – Chamba

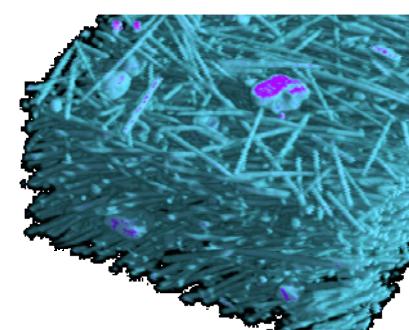
- + Barato, aislante
- Sensible a lluvia,  
a impacto,  
húmedo,  
requiere  
mantenimiento



# Materiales – Compuestos

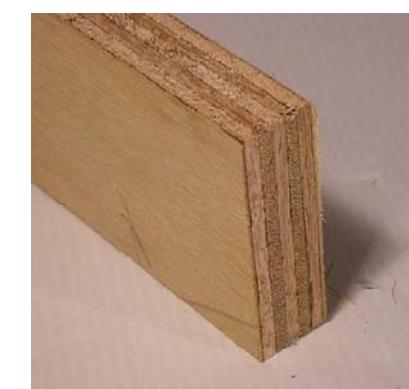
## ■ Polímero reforzado con fibra (FRP)

- + ligero,
- caro, dependencia



## ■ Refuerzo de:

- Fibra natural de:
  - fruta (algodón, coco)
  - líber (yute, lino, cáñamo)
  - hojas (sisal)



- Fibra de vidrio

- Fibra de carbono

- Madera

## ■ Resina: melamina, formaldehido de urea, etc.



# Materiales – Bambú



## Índice

- Historia
- Botánica y Localización
- Descripción
- Mecánica
- Arquitectura

## □ Fuentes:

- Tesis Doctoral de J. H. Arcila Losada, 1993, UPC
- Máster de Habitabilidad y Cooperación, 2002, UPM
- International Network for Bamboo and Rattan
- American Bamboo Society



# Materiales – Bambú: Historia

## Significado cultural

### ■ Imagen occidental:

- Artesanía oriental
- Productos decorativos
- Construcciones elementales y burdas

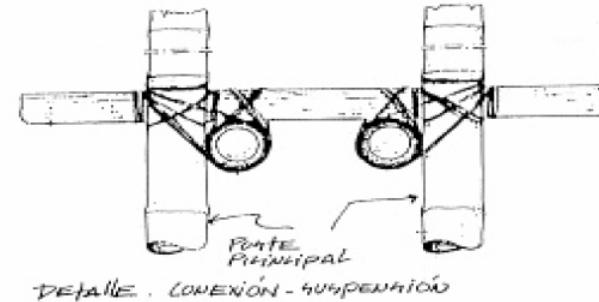
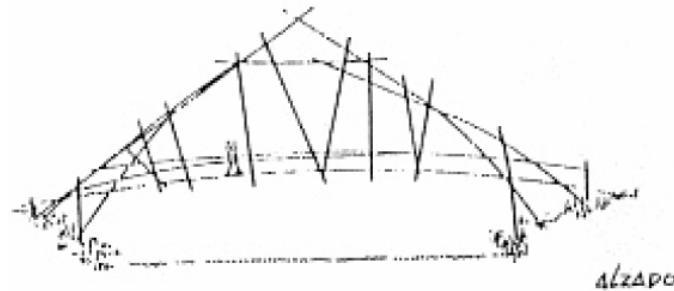
### ■ Imagen oriental:

- Riqueza: origen de alimento, vivienda, armas...
- Japón: 1500 usos. China: 4000 usos.



# Materiales – Bambú: Historia

- Primeros cables de puentes
  - Himalaya: luces de 75m



- Occidente
  - Edison (1880): filamentos de bambú carbonizado
  - Piatti (1947): destiló combustible diesel
  - Antonio de León (1952): aeronáutica
  - Plybamboo: laminación y colas sintéticas



# Materiales – Bambú: Botánica

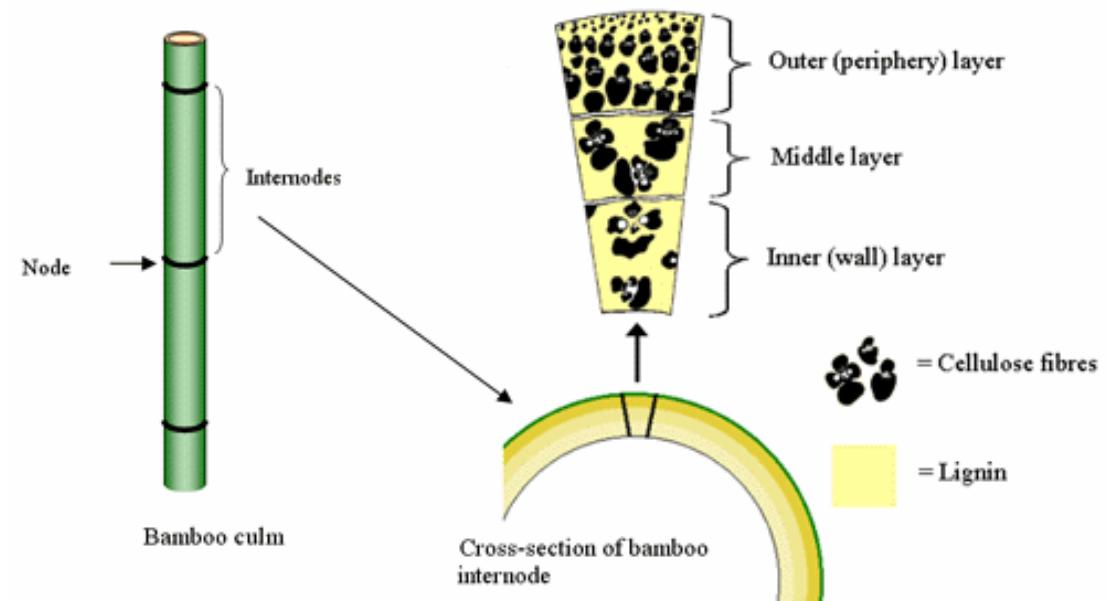
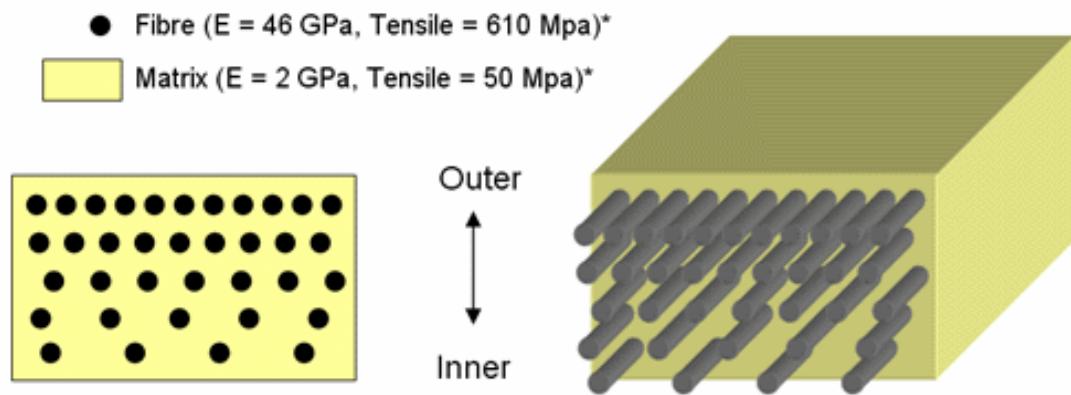
- Botánica: gramínea primitiva
  - 75 géneros, 1250 especies
  - Bambú herbáceo: Sotobosque de selva tropical
  - Leñosos: hasta 4000 m
- Localización: Trópicos: 21 MHa
- Todos los continentes excepto Europa:
  - Sudeste asiático: 800 especies (18 MHa)
  - India (9MHa, 12.5% del bosque cultivado)
  - China: 300 especies
  - Japón: 660 especies
  - América: 460 especies



# Materiales – Bambú: Descripción

## ■ Geometría:

- Crece 1.2m / 24h
- Altura: 30 m (américa)
- Diámetro: 20 cm
- Tallo hueco, dividido por tabiques, y segmentado por nudos
- Culmo = base (15-30cm)



# Materiales – Bambú

## ■ Edad:

- Altura máxima: 30-180 días
- Edad corte: 2-6 años
- Resistencia máx: 3-6 años
- Vida: 10-100 años



## ■ Otros usos (además de la edificación):

- Estabilización de suelos
- Rompevientos
- Aguas residuales
- Reducción de nitratos contaminantes
- Cortafuegos



# Materiales – Bambú: Descripción

## Curado

- Motivos: coleópteros, termes y hongos.
- Tipos (eliminar humedad y sustancias)
  - Natural
  - Calentamiento, secado, lixiviación, impregnación, encalado
  - Métodos químicos: baño, imbibición, vacío-presión



# Materiales – Bambú: Mecánica

	Bambú	Hormigón	Madera	Acero
Módulo Elástico (GPa)	20	18-30	10-14	190-210
Resistencia Tracción (MPa)	200-300	1-7	50-100	340-1900
Resistencia Compresión (MPa)	50-90	10-70		340-1900

- Resistencia al fuego: más retardante que madera
- Peso/rigidez en viga: 57% de madera
- Peso/rigidez en columna: 40% de madera





2004 1 16

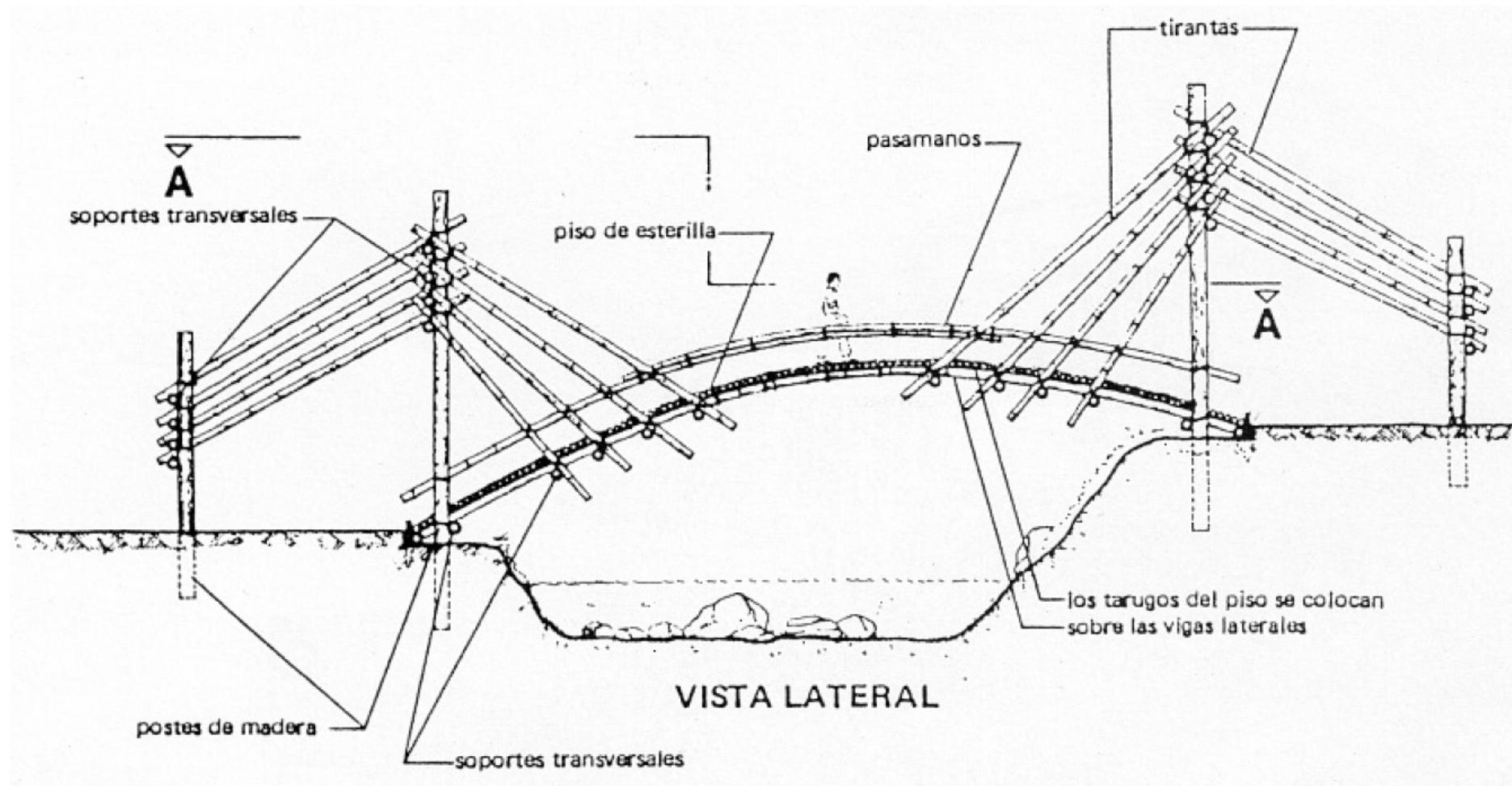


# Materiales – Bambú: Arquitectura primitiva

- Construcciones vernáculas: colaboración entre constructores y usuarios
- Latinoamérica:
  - Haces trenzados
  - Mixtos (bambú, caña, barro, adobe)
- Oriente:
  - Puentes chinos
  - Japón: decoración y jardines, cubiertas estructurales



# Materiales – Bambú: Arquitectura primitiva

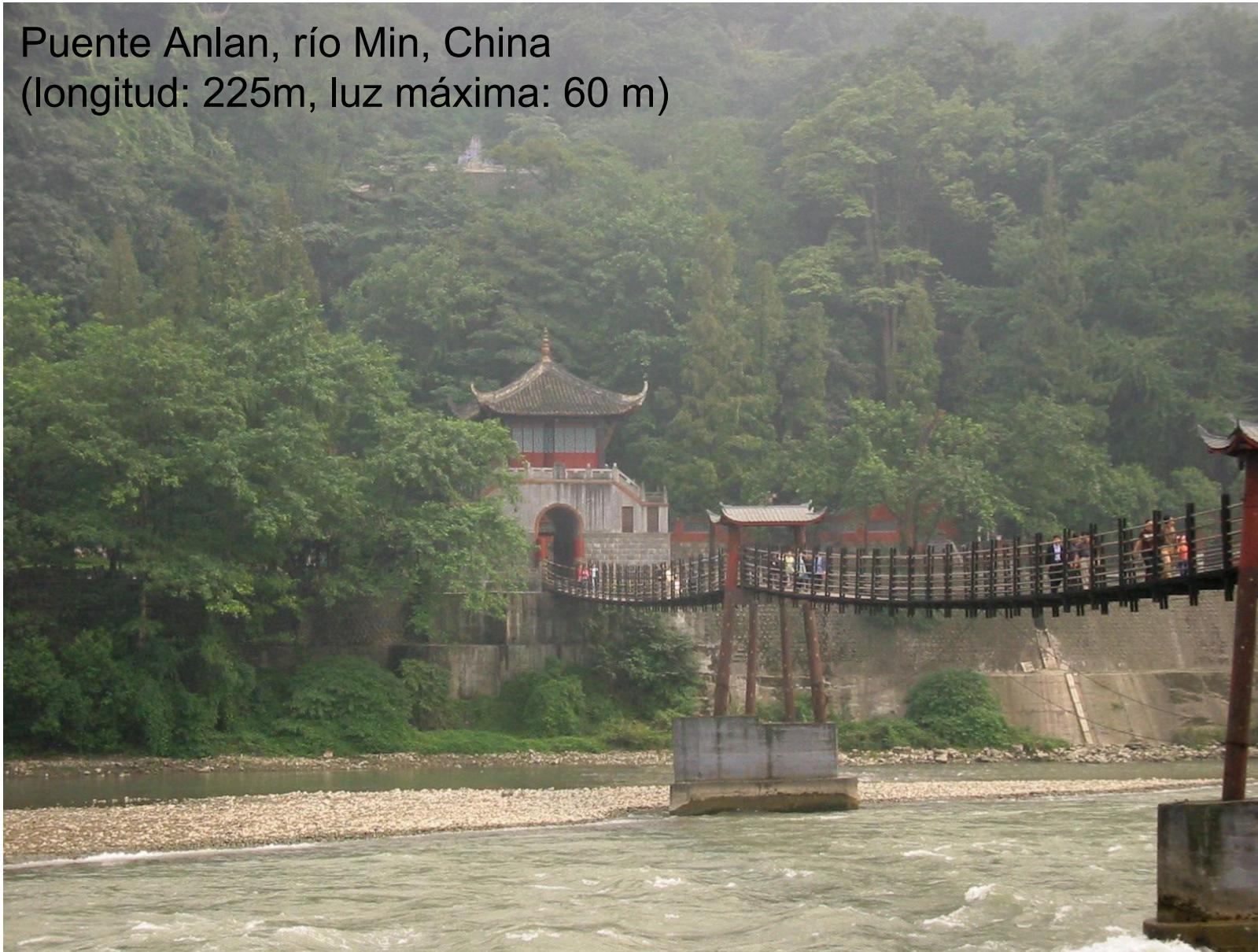


Puente peatonal *Indios Páez*, Colombia



# Materiales – Bambú: Arquitectura primitiva

Puente Anlan, río Min, China  
(longitud: 225m, luz máxima: 60 m)



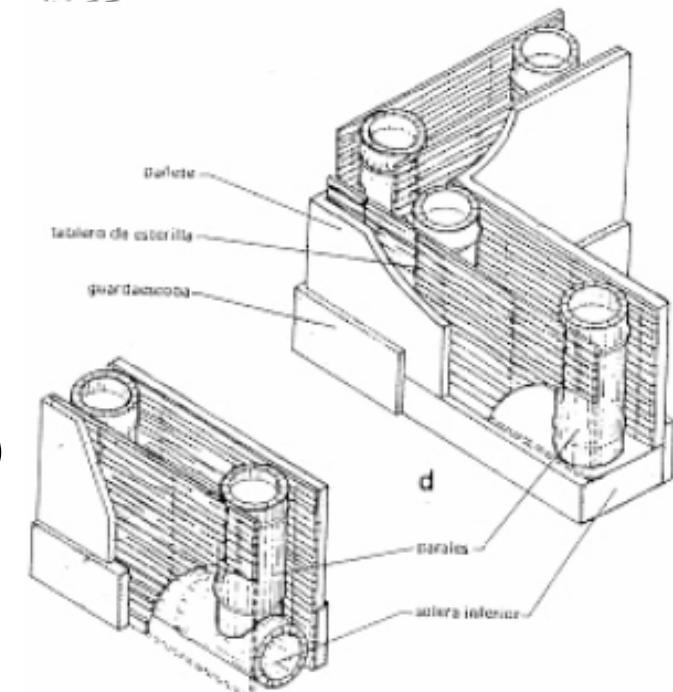
# Materiales – Bambú: Arquitectura actual

- Escuelas anónimas
  - Suburbios marginales (América, Asia)
  - Organismos vivos: las piezas se reemplazan continuamente
- Edificios experimentales
  - Glorieta de verano, parque Güell (Gaudí, 1880)
  - Universidad de Eindhoven (1974)
  - Universidad de Palmira (Colombia, 1975), escolares
    - Uniones a tracción
  - Cúpula geodésica de Buckminster Fuller (Calcuta, 1961)
  - Refuerzo de hormigón (H. Chou, MIT, 1914)
    - Cimentación de puentes de ferrocarril en China desde 1918



# Materiales – Bambú: Arquitectura

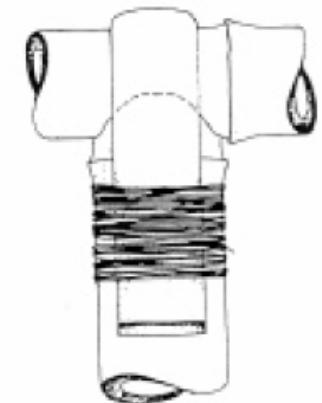
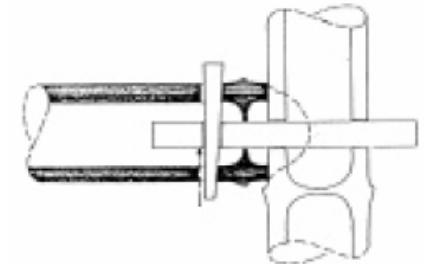
- Cimentaciones
  - Puntual (pilotes) – Corrida (hormigón reforzado)
  - Superficial – Profunda
  - Solera: losa de hormigón – forjado de bambú
- Muros
  - Entramado: armazón de bambú y madera
  - Separación de ejes: 50cm por pandeo
- Cubierta
  - Esterilla, entablado, tablero, planchas metálicas
  - Tejado convencional excepto cerámica (pesada)
- Carpintería
  - Desaconsejada por sección variable



# Materiales – Bambú: Arquitectura actual

## ■ Ventajas

- Características mecánicas
- Transporte (peso)
- Sismorresistencia (alto límite elástico + sección)
- Mecanización (herramientas sencilla, sin corteza)
- Coste
- Estética



## ■ Inconvenientes

- Sección variable
- Ataque de insectos – putrefacción (impermeabilización)
- Contracción en secado (mala adhesión a hormigón armado)
- Combustible (pero retardante)
- Uniones (anisotropía → rajado → piezas especiales, entalladuras, biselados... + fibras de bambú, juncos, soga, pletinas, carteras...)



# Evaluar



# Evaluar

- Qué:
  - Grado de cumplimiento de expectativas: satisfacción
  - Grado de adecuación a la demanda, aceptación, participación
  - Impacto no esperados en la comunidad: beneficios y perjuicios
    - Social, económico, político
  - Control de calidad: funcionamiento y seguridad
  - Coste – eficacia, beneficio, eficiencia
- Quién y cómo:
  - OBC, instituciones
  - Equipos multidisciplinares: antropólogos, ingenieros, profesionales relacionados y miembros de la comunidad ...
- Para qué:
  - Modificar / adecuar, si no cumple
  - Identificar oportunidades de mejora
  - Retroalimentación = aprender para intervenciones futuras
  - Mantenimiento
  - Actualización = adecuarse a nuevas necesidades (proceso)



# Prácticas optativas

Modelo de ecoestructura



# Prácticas optativas – modelo de ecoestructura



# Prácticas optativas – modelo de ecoestructura



# Prácticas optativas – modelo de ecoestructura



Modelos  
inflables

(Institute of  
planetary  
renewal)



# Prácticas optativas – modelo de ecoestructura



Domos

(Institute of  
planetary  
renewal)



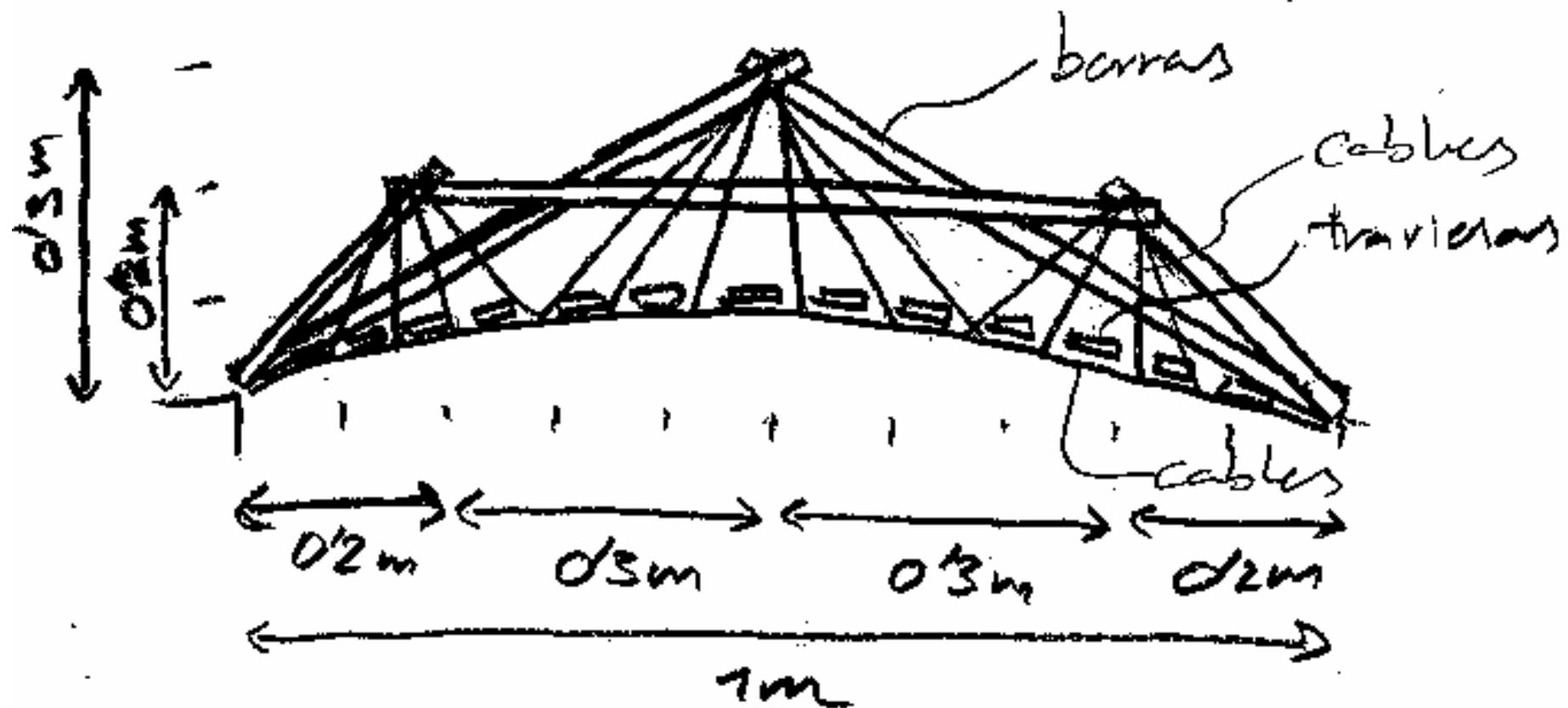
# Prácticas optativas – modelo de ecoestructura

Estructuras  
de bambú



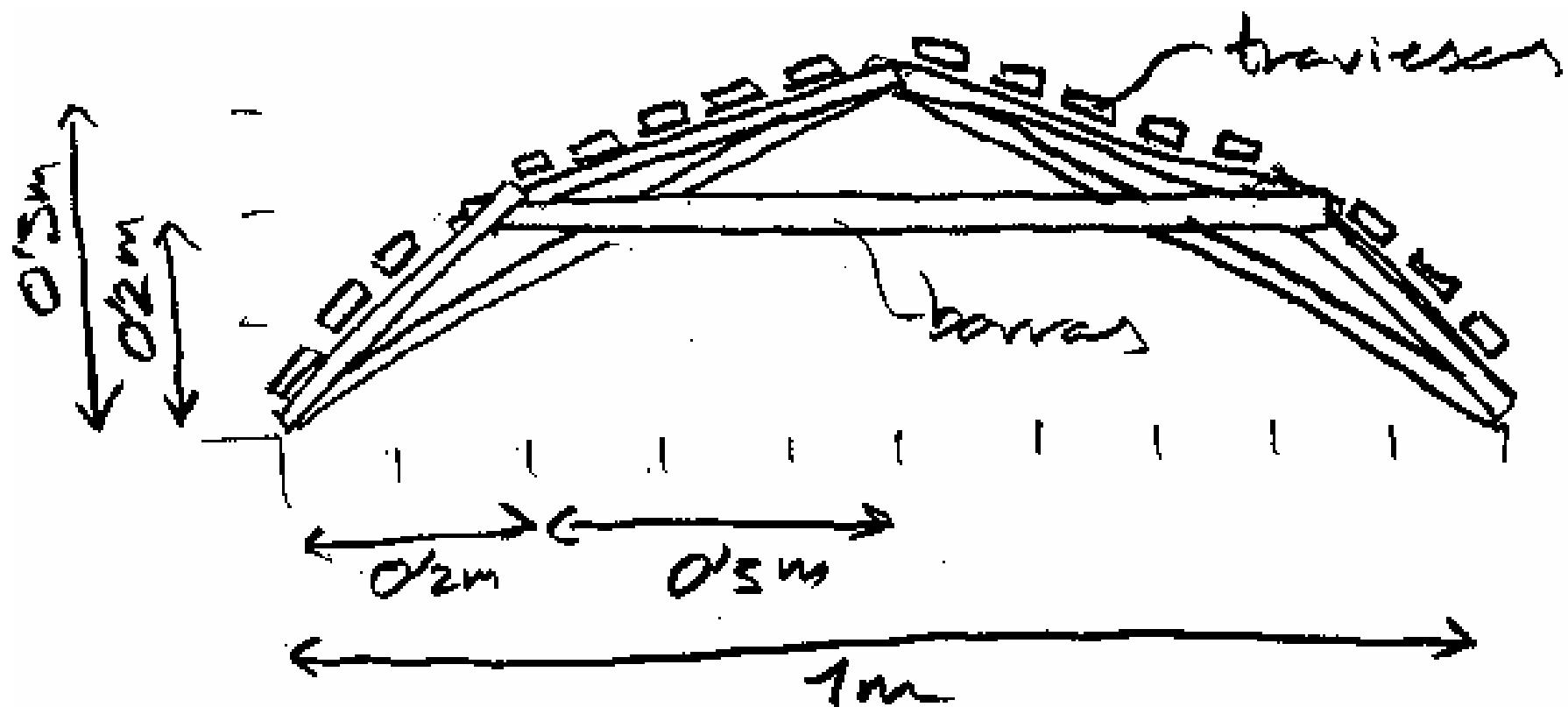
# Prácticas optativas – modelo de ecoestructura

- Propuestas: pasarela colgante autoestable



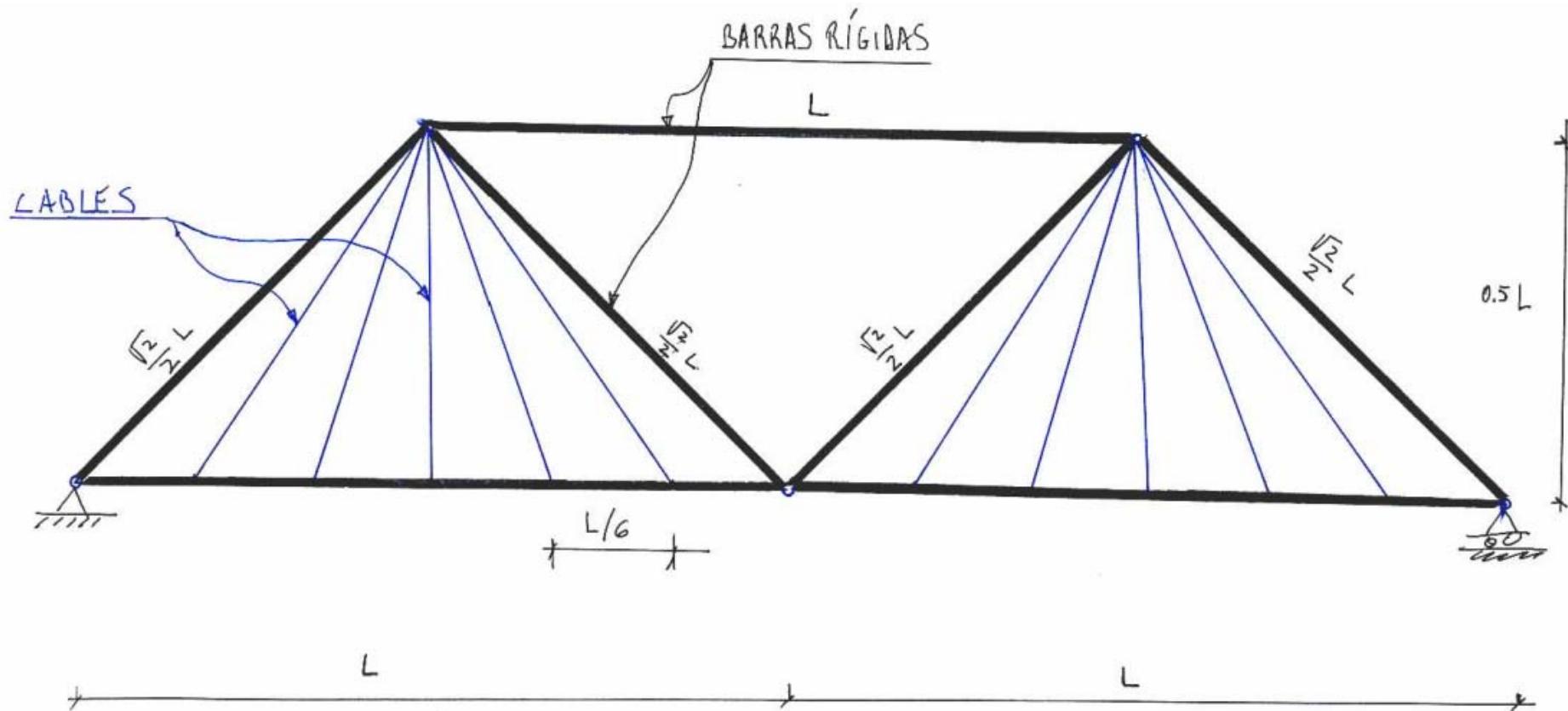
# Prácticas optativas – modelo de ecoestructura

- Propuestas: pasarela autoestable



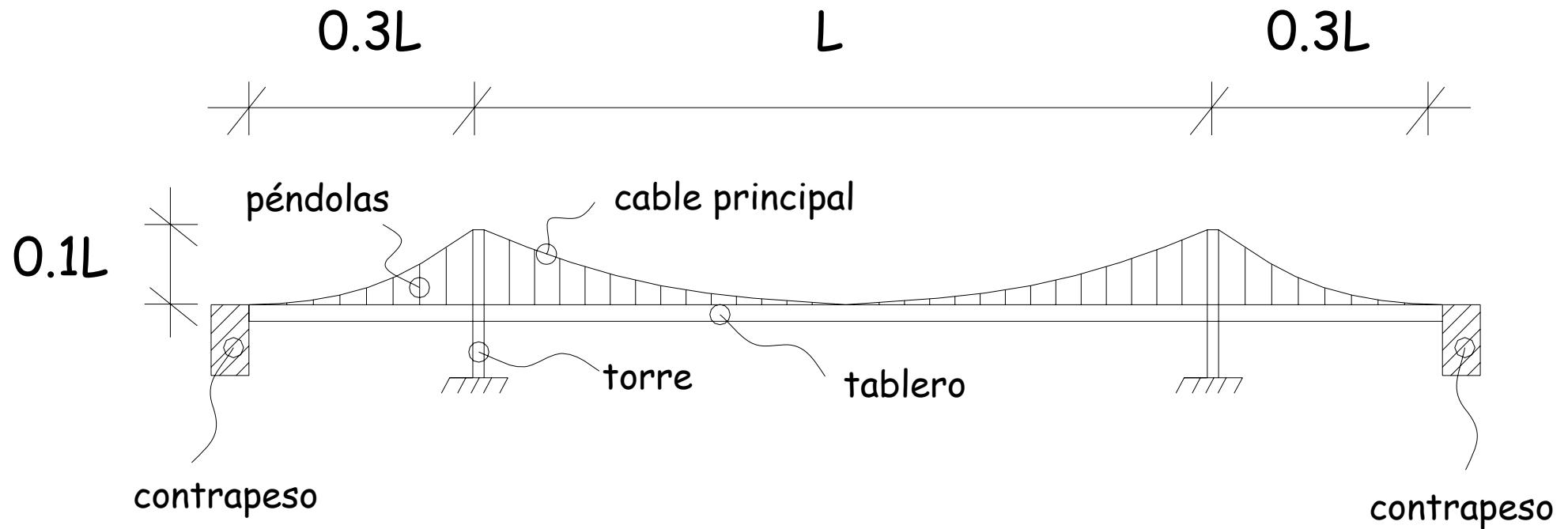
# Prácticas optativas – modelo de ecoestructura

## ■ Propuestas: pasarela autoestable



# Prácticas optativas – modelo de ecoestructura

## ■ Propuestas: puente colgante



# Prácticas optativas – modelo de ecoestructura

## ■ Propuestas: bases de cálculo

	Bambú	Hormigón	Madera	Acero
Módulo Elástico (GPa)	20	18-30	10-14	190-210
Resistencia Tracción (MPa)	200-300	1-7	50-100	340-1900
Resistencia Compresión (MPa)	50-90	10-70		340-1900



# Prácticas optativas – modelo de ecoestructura

Objetivos generales:

- Estimular la creatividad
- Contactar con la realidad
- Trabajar en equipo multidisciplinar
- Crear experiencia y criterio autónomo

Evaluar el esfuerzo y el aporte de ideas



# Prácticas optativas – modelo de ecoestructura

Objetivos concretos:

- Proyectar y construir un modelo a escala
- Preparar un póster y una memoria breve
- Hacer cálculos simplificados (opcional)



# Prácticas optativas – modelo de ecoestructura

## Programa de trabajo

- Propuesta (hoy):
  - Establecer grupos y elegir un trabajo
  - Actividad: preparar una propuesta completamente definida
- Tutorías con el profesor:
  - Mejorar la propuesta con los profesores y puesta en común
- Trabajo en casa:
  - Adquirir el material (con cargo al curso)
  - Ensamblar el modelo
  - Preparar una memoria y un póster
- Exposición (final de curso)
  - Presentar el modelo y el póster



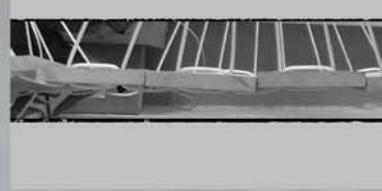
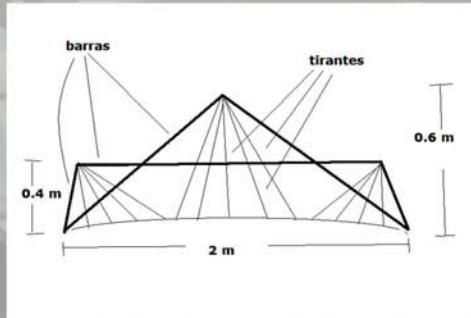
# Prácticas optativas – modelo de ecoestructura

## PUENTE COLGANTE AUTOESTABLE

**PRESUPUESTO**

Madera de pino.....	50€
Cuerda blanca (40m).....	5.50€
Elementos de sujeción	
Tornillos hexagonales.....	1.50€
Elementos pasantes	
Tubería cobre( $\varnothing=18\text{mm}$ ).....	10.50€
<b>Presupuesto total..... 67.5€</b>	

**Escala: 1:10**



Se trata de un puente autoestable y autoportante.

Este tipo de puente se puede emplear en distintos lugares con dimensiones parecidas en épocas de crecidas de ríos.

La maqueta, que se encuentra a escala 1:10, resiste el peso de 2 personas.

**DIRECCIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRA**

Olga Canto Loaiza  
Patricia Damas Sampedro  
Rafael Huertas Ochoa  
Arturo Miñán Gutiérrez  
Marta Sánchez-Mantero Hidalgo



# Prácticas optativas – modelo de ecoestructura



Alumnos 2005/06



Camerún, 2006

Muchas gracias

Guillermo Rus Carlborg  
[grus@ugr.es](mailto:grus@ugr.es)  
[www.ugr.es/~grus](http://www.ugr.es/~grus)



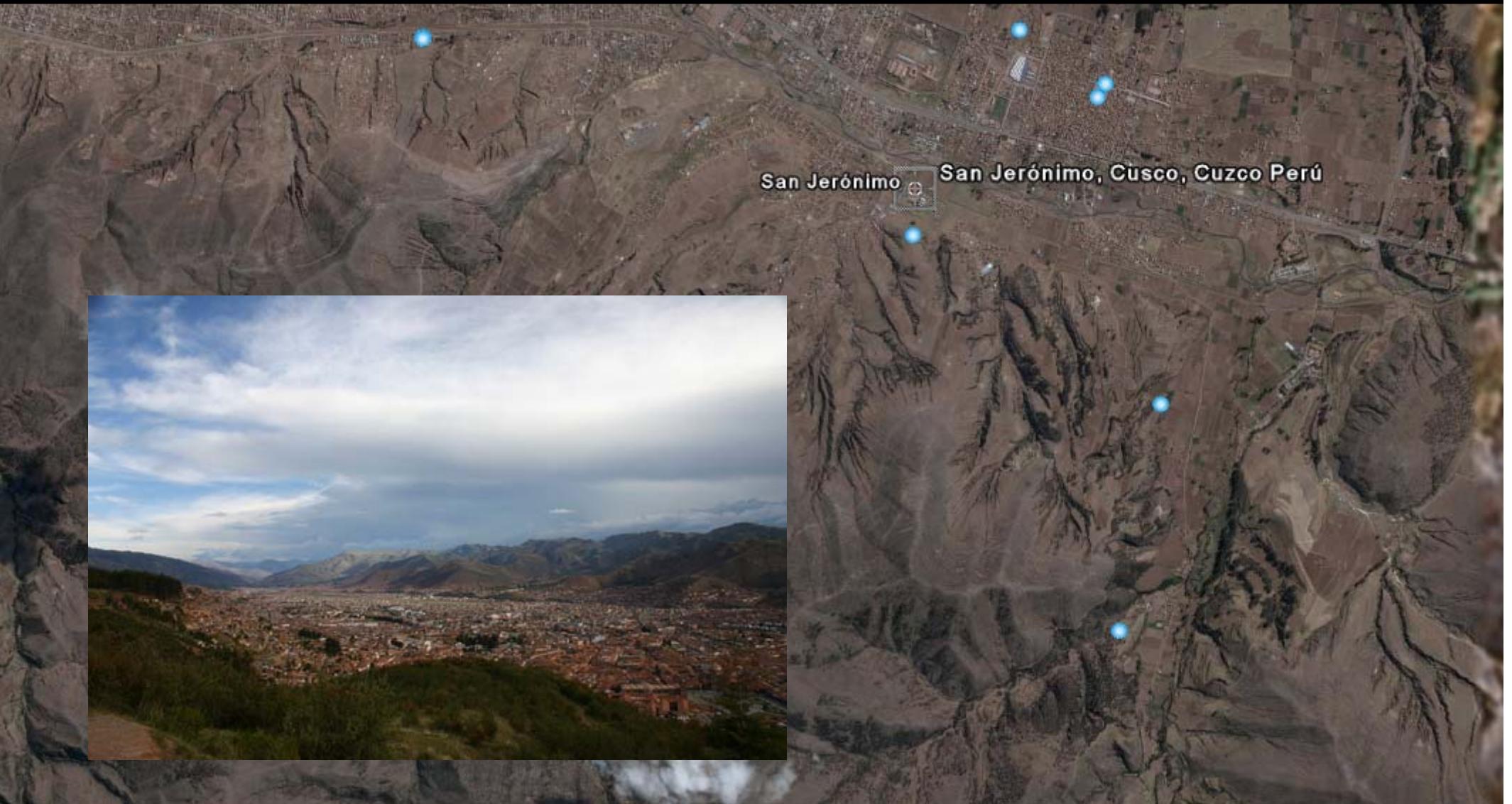
# Evaluación

- Imaginemos 3 días en sudamérica para actuar



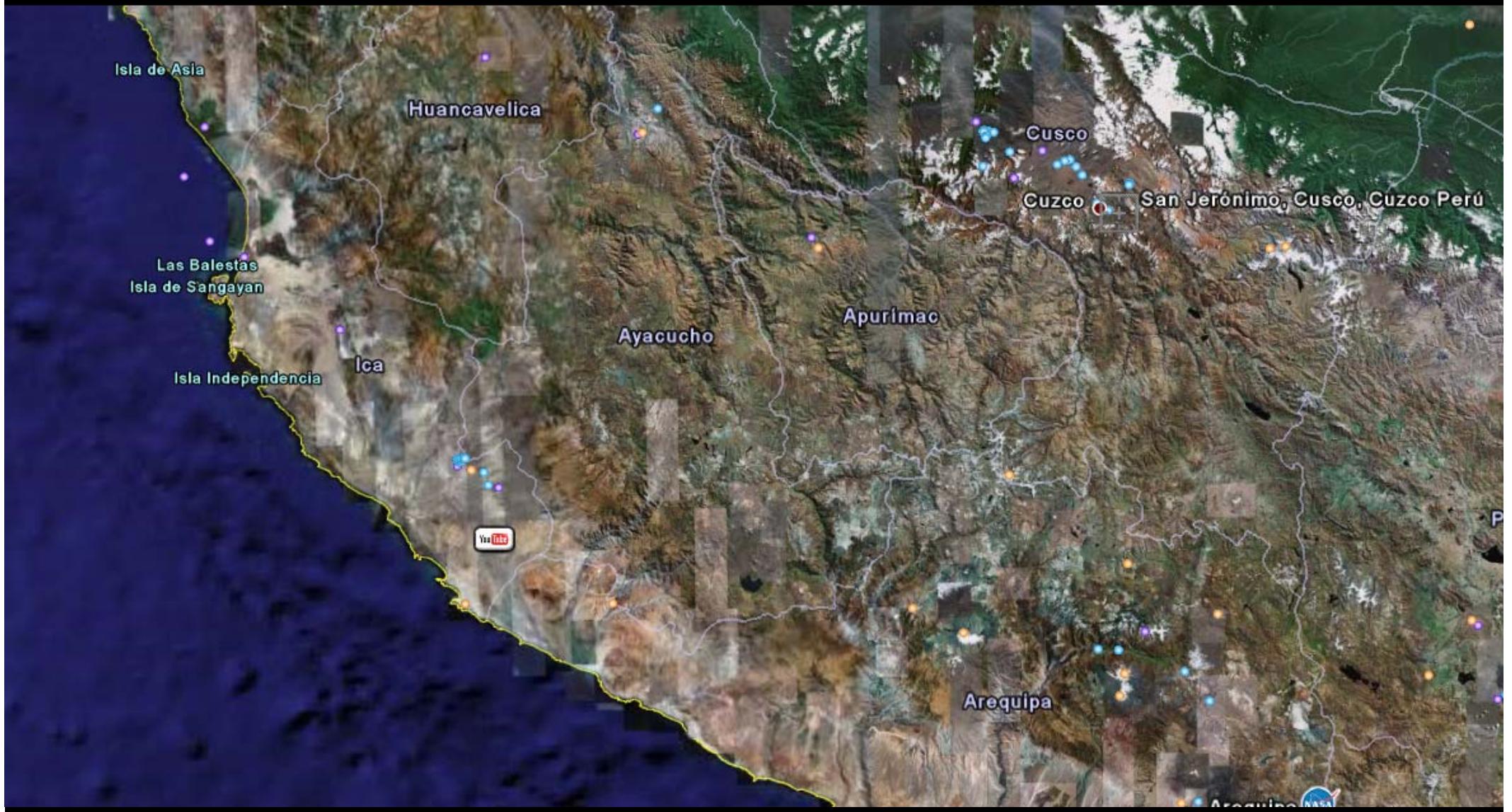
# Evaluación

- Imaginemos 3 días en sudamérica para actuar



# Evaluación

- Imaginemos 3 días en sudamérica para actuar



# Evaluación

- Imaginemos 3 días en sudamérica para actuar
- Objetivo:
  - diseñar plan de capacitación
  - transferencia y aplicación práctica
- Incluir:
  - Quién: Personal
  - Cuándo: Calendario de trabajo
  - Cómo diagnosticar previamente
  - Qué: contenidos
  - A quién: captación y promoción
  - ... ¿Nos dejamos algo?
- Evaluación:
  - Indicar fuentes y procedimientos, no detalles de contenidos
  - Sintético
  - Máximo: 1 folio / 1 cara





Camerún, 2006

Muchas gracias

Guillermo Rus Carlborg  
[grus@ugr.es](mailto:grus@ugr.es)  
[www.ugr.es/~grus](http://www.ugr.es/~grus)

