



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

conento

Modelo para la definición de índices.
María Jesús Vázquez Gallo

Formación Conento: enero 2008

1. INTRODUCCIÓN.
2. ÍNDICE DE MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE.
3. ANÁLISIS MULTICRITERIO.
4. SABER MÁS.

“Mide lo que es medible y convierte en medible lo que no lo sea”



Galileo Galilei (1564-1642)



Geometría



medir



¿Cuál es el país más poblado del mundo?



Macao 18.182 hab./km²
(454.550 hab./ 25 km²)

Mónaco 16.620 hab./ km²
(33.240 hab./ 2 km²)

China 134 hab./km²
(1.285.992.640 hab./
9.596.960 km²)

Mongolia 1'7 hab./km²
(2.711.500 hab./1.595.000 km²)

Groenlandia 0'03 hab./ km²
(64.982 hab./2.166.086 km²)



índice. (Del lat. *index*, -*icis*).

Real Academia Española ©

1. m. Indicio o señal de algo.

2. m. En un libro u otra publicación, lista ordenada de los capítulos, artículos, materias, voces, etc., en él contenidos, con indicación del lugar donde aparecen.
3. m. Catálogo de las obras conservadas en una biblioteca, archivo, etc., clasificadas según diversos criterios.
4. m. En una biblioteca pública, pieza o departamento donde está el catálogo.
5. m. Cada una de las manecillas de un reloj o de las agujas y otros elementos indicadores de los instrumentos graduados, tales como barómetros, termómetros, higrómetros, etc.
6. m. Gnomon de un cuadrante solar.

7. m. Expresión numérica de la relación entre dos cantidades. *Índice de población activa, de inflación.*

8. m. **dedo índice.**

9. m. *Mat.* Número o letra que se coloca en la abertura del signo radical y sirve para indicar el grado de la raíz.

~ **cefálico.**

1. m. *Zool.* Relación entre la anchura y la longitud máxima del cráneo.

~ **de audiencia.**

1. m. Número de personas que siguen un medio de comunicación o un programa en un período de tiempo determinado.

~ **de octano.**

1. m. *Quím.* Unidad en que se expresa el poder antidetonante de una gasolina o de otros carburantes en relación con cierta mezcla de hidrocarburos que se toma como base.

~ **de precios al consumo.**

1. m. Expresión numérica del incremento de los precios de bienes y servicios en un período de tiempo con respecto a otro período anterior.

~ **de refracción.**

1. m. *Fís.* Razón entre las velocidades de propagación de la luz en el vacío y en un determinado medio.

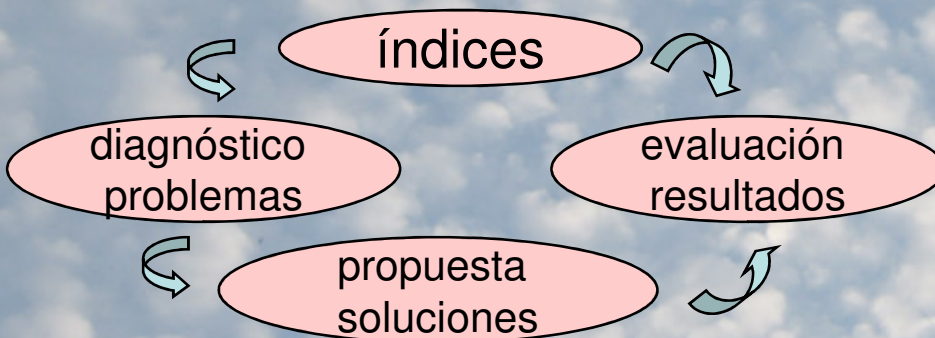
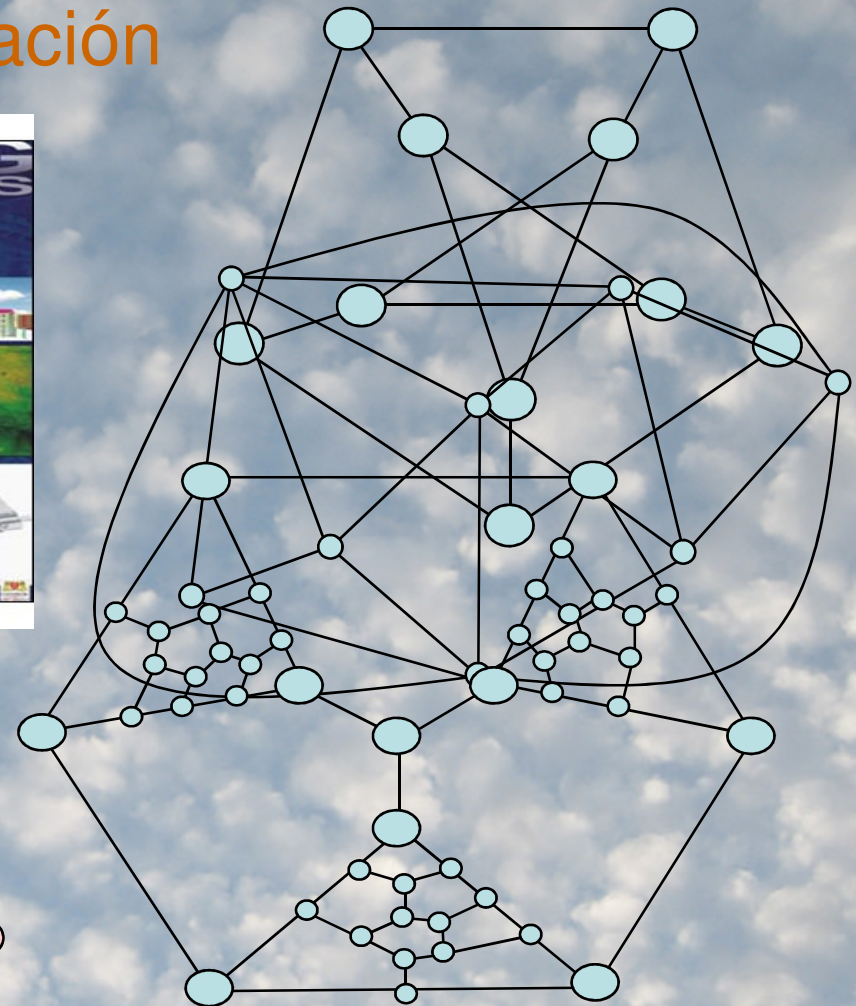
~ **expurgatorio.**

1. m. Catálogo de los libros que la Iglesia católica prohibía o mandaba corregir.

planificación



Gdansk Development Agency Urban planning as part of the Gdansk Municipal GIS. The main task of this organization was to produce local urban plans in order to ensure sustainable development of Gdansk, more than 1,000 years old and has about 500,000 inhabitants.

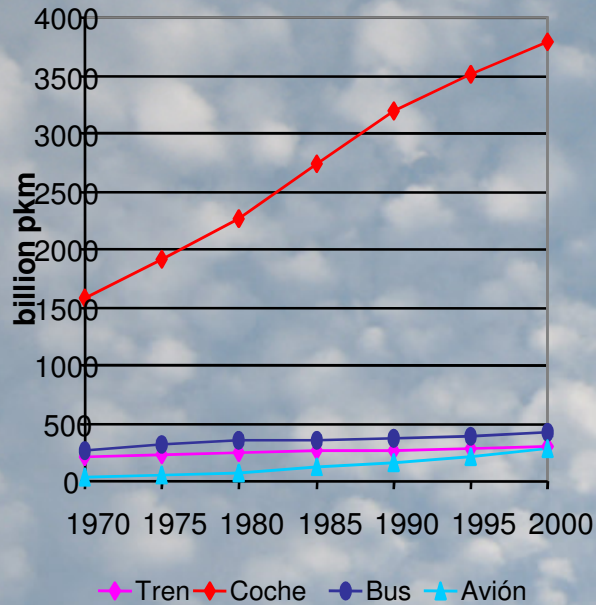


índices en planificación de transportes

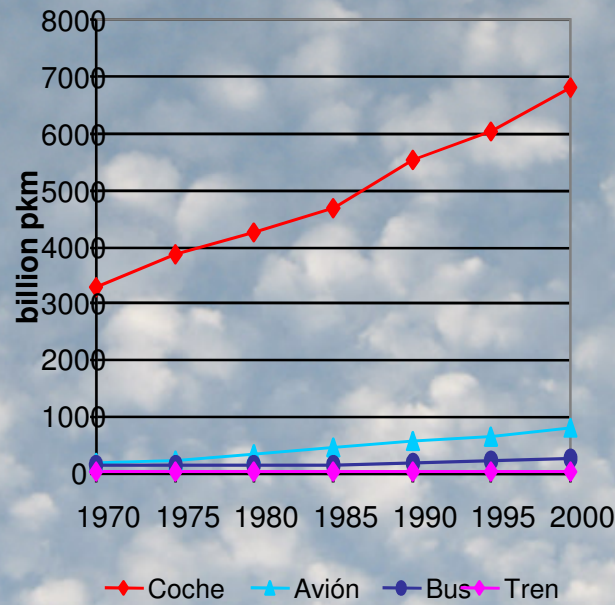
- ▶ **distribución modal:** proporción de viajeros que utilizan un determinado modo de transporte;
- ▶ **cambio modal:** proporción de viajes en automóvil que cambian a otros modos de transporte;
- ▶ **ocupación media de vehículos:** número de personas que viajan en vehículos privados dividido por el número de viajes realizados;
- ▶ **velocidad media** del tráfico rodado;
- ▶ **nivel de servicio** de una vía;
- ▶ **coste por kilómetro** de viaje;
- ▶ **satisfacción** del usuario; etc.

Transporte de pasajeros. Evolución de la distribución modal.

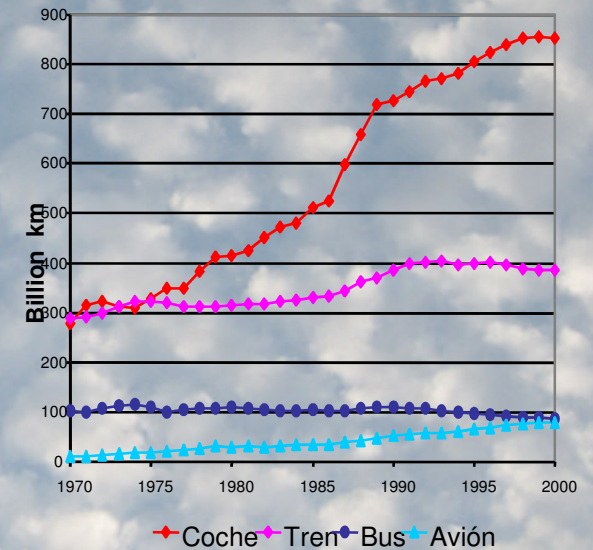
EUROPA



U.S.A.

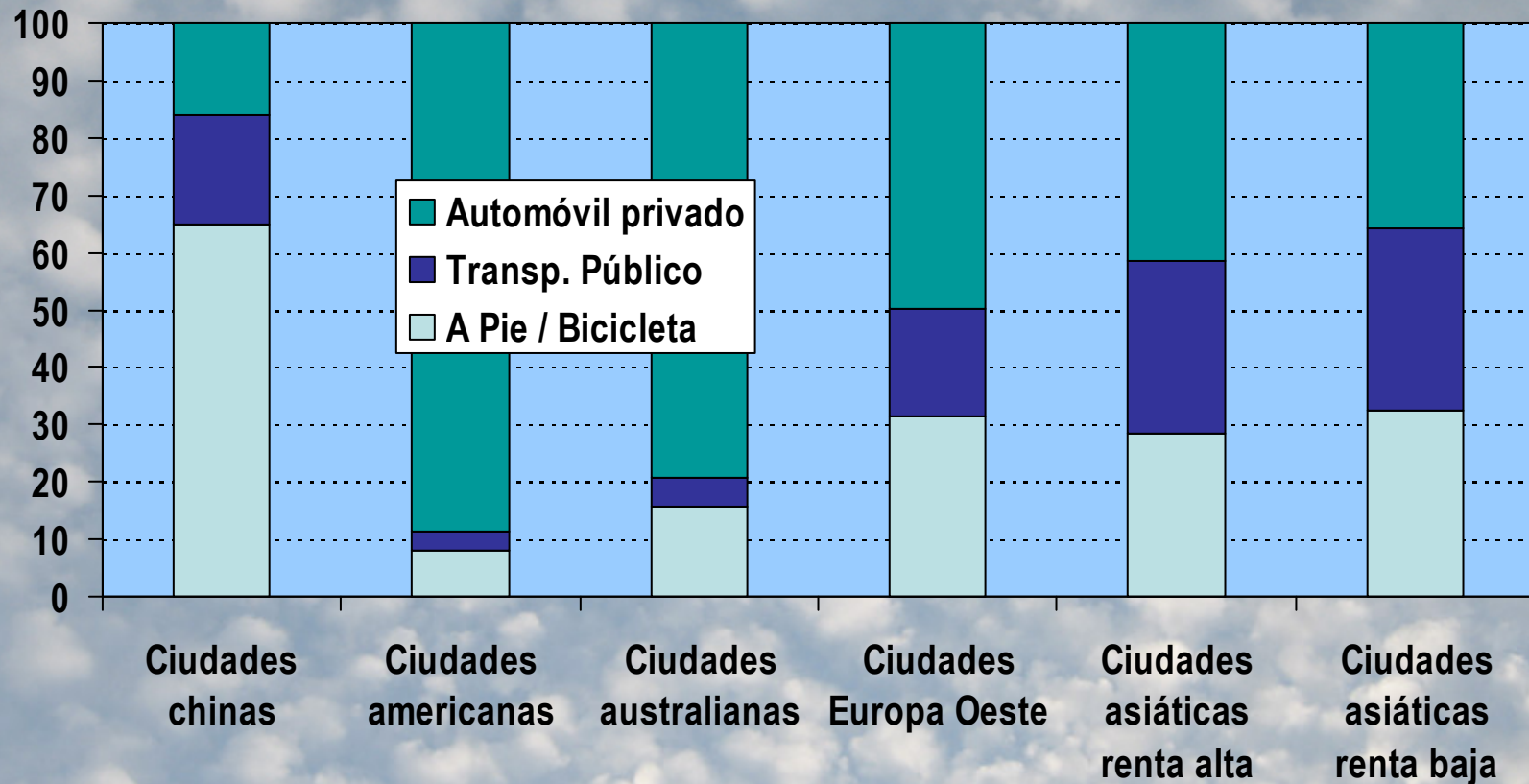


JAPÓN



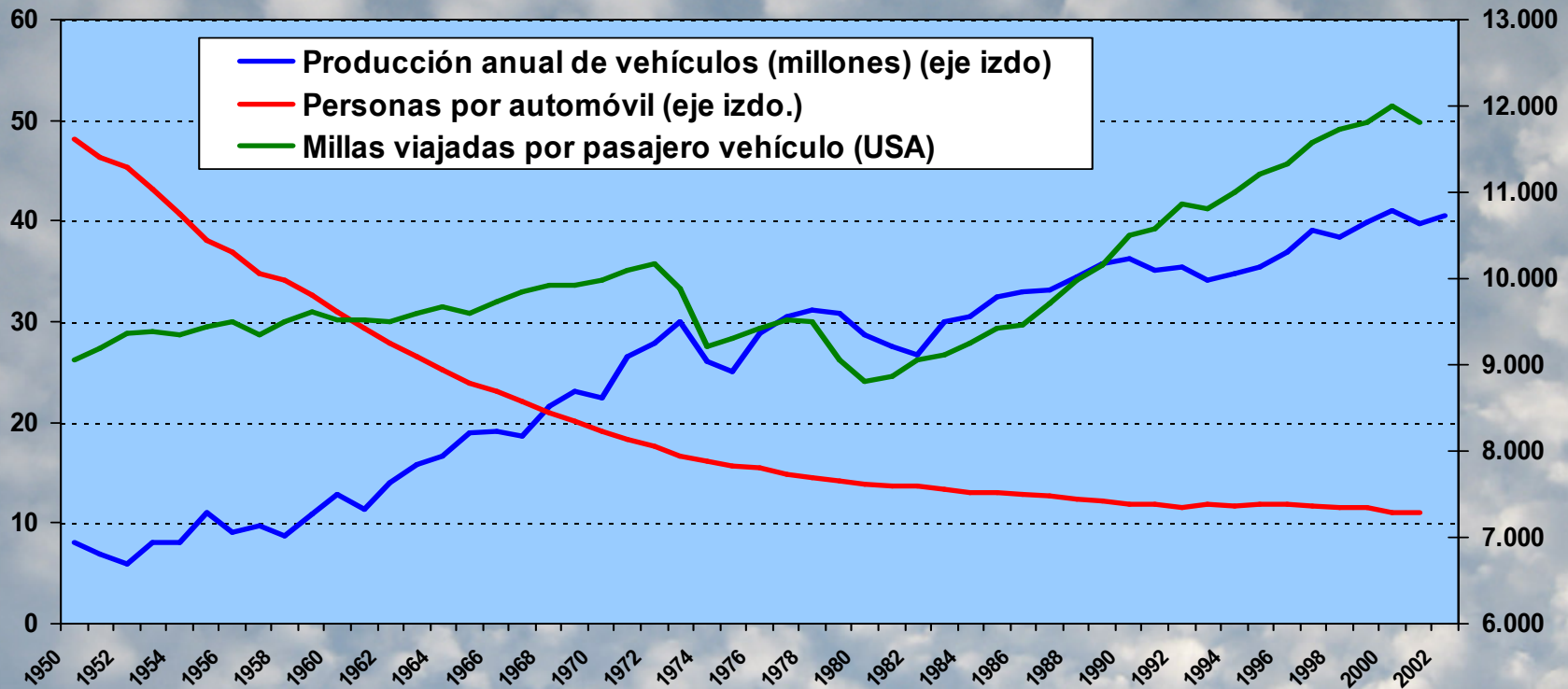
Fuente: Nadia Caïd, OECD Environment Directorate

Distribución modal en ciudades globales.



Fuente: KENWORTHY, J. and LAUBE, F.B. (2001): The Millennium Cities Database for Sustainable Transport. International Union (Association) of Public Transport, Brussels, Belgium and ISTP, Perth, Western Australia

Índices uso de automóvil. 1950-2002.



Objetivo: definir un índice de movilidad urbana útil en la complicada tarea de lograr una movilidad urbana **sostenible**, una de las metas de la **Carta de las ciudades europeas sostenibles**, aprobada en la ciudad danesa de Aalborg en 1994.



La adopción por parte de la Organización de Naciones Unidas del concepto de **desarrollo sostenible** parte de la creación en 1983 de la Comisión mundial sobre ambiente y desarrollo (WCED) que, en 1987, publicó el Informe Brundtland.

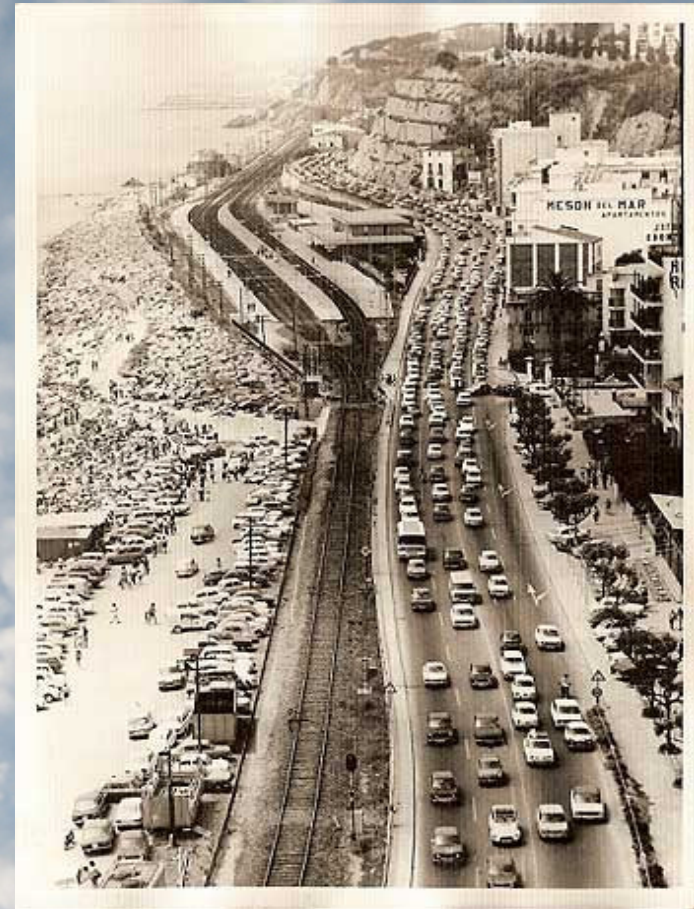
El desarrollo sostenible se definió como **"aquel desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro, para atender sus propias necesidades"**.

Con la firma de la **carta de Aalborg**, cientos de poblaciones europeas se comprometieron a participar en las iniciativas locales del llamado **Programa 21**, programa de ONU para promover el desarrollo sostenible;

En **España**, hay más de 1.000 municipios que han declarado su compromiso de trabajar en ello firmando la carta Aalborg y en **Europa** más de 10.000.

TRÁFICO

objeto	vehículos: automóvil
uso suelo	proximidad autopistas, disponibilidad aparcamiento
problemas	costes y riesgos conductores
soluciones	aumento carreteras, velocidad, vehículos
medidas	volumen de tráfico, velocidad media, nivel de servicio de las carreteras, disponibilidad aparcamiento, costes por vehículo, tasas de accidentes





MOVILIDAD

objeto

desplazamiento motorizado de personas o mercancías, peatones, ciclistas

uso suelo

proximidad autopistas, disponibilidad aparcamiento, zonas tránsito y VAO

problemas

limitación del movimiento físico de vehículos motorizados

soluciones

aumento carreteras, velocidad, vehículos;
mejoras peatones y ciclistas

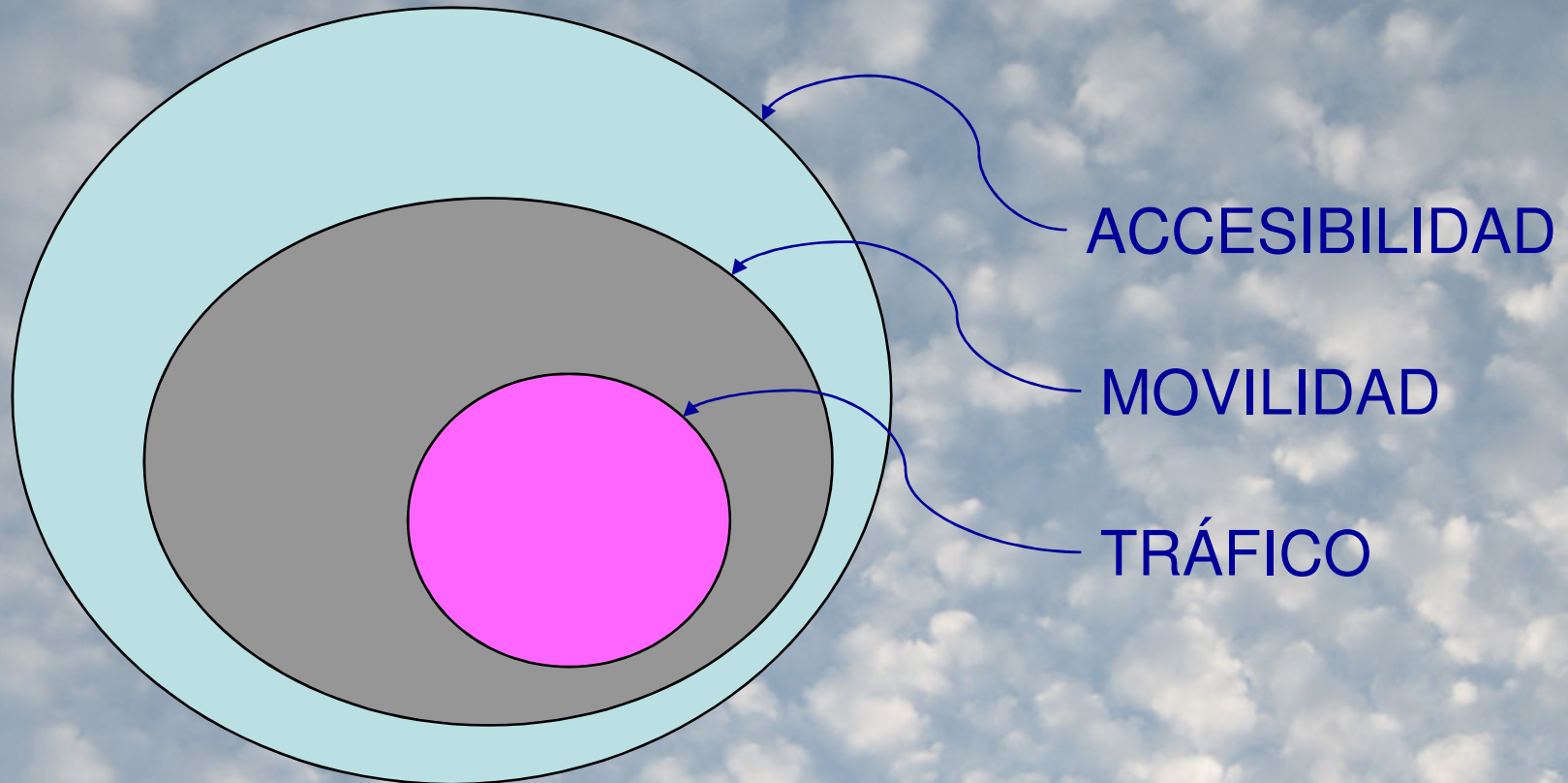
medidas

pasajeros/km, toneladas/km, velocidades de recorrido

ACCESIBILIDAD

objeto	conseguir bienes, servicios ... “oportunidades”
uso suelo	integrado con el transporte para facilitar acceso
problemas	barrera, riesgo o coste que impida a las personas alcanzar las oportunidades deseadas
soluciones	mejorar el tráfico, la movilidad y distribuir el uso del suelo de forma accesible para todos
medidas	más complejas IAU: índice accesibilidad universal (J. Alonso).

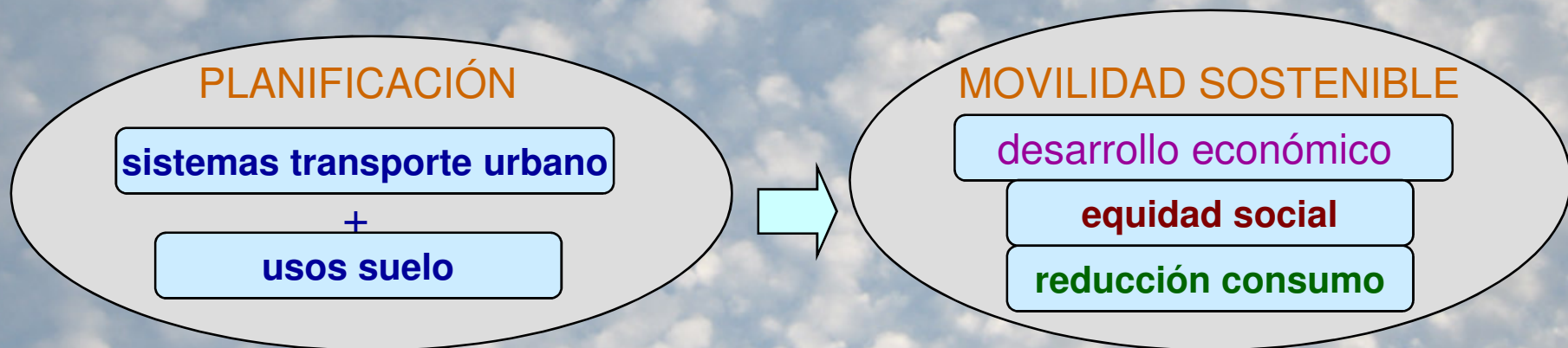


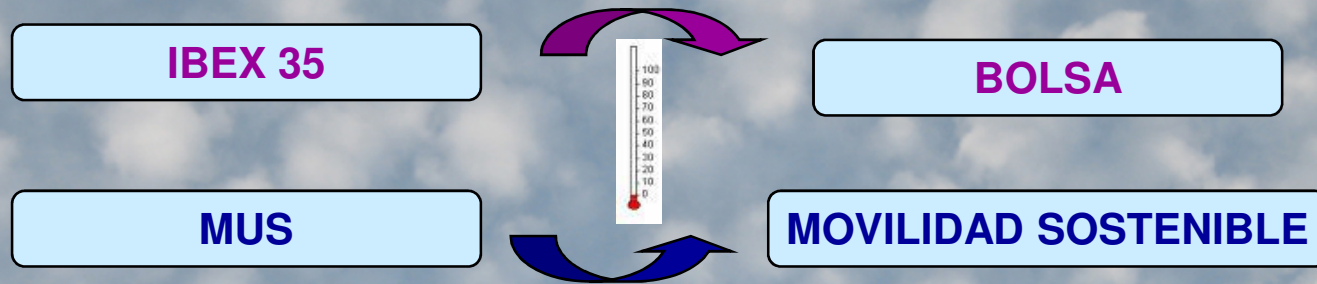




SISTEMAS DE TRANSPORTE URBANO → movilidad sostenible

ECONOMÍA	<ul style="list-style-type: none">• costes transportes personas y mercancías• competitividad empresas• opciones de negocio
SOCIEDAD	<ul style="list-style-type: none">• igualdad de oportunidades• salud población
MEDIO AMBIENTE	<ul style="list-style-type: none">• consumo de recursos naturales• contaminación del aire• ruido





Índice → evaluación magnitudes ponderando importancia

<p>IBEX 35</p>	<ul style="list-style-type: none"> • magnitudes: valores bursátiles significativos • ponderación: capitalización • datos: base 1989 + cotización valores momento • fórmula: $IBEX\ 35(t) = IBEX\ 35(t - 1) \times \frac{\sum_c Capi(t)}{[\sum_c Capi(t - 1) \pm J]}$
<p>MUS</p>	<ul style="list-style-type: none"> • magnitudes: descriptores movilidad sostenible • ponderación: análisis multicriterio • datos: valores referencia descriptores • fórmula: <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto;"> $MUS = \sum_{i=1}^m \rho_i \sum_{j=1}^{n_i} \alpha_j \varpi_j v_j$ </div>

ÍNDICE MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE: MUS

$$\mathbf{MUS} = \sum_{i=1}^m \rho_i \mathbf{b}_i$$

$$\mathbf{b}_i = \sum_{j=1}^{n_i} \alpha_j \varpi_j v_j$$

MUS	<p>m es el número de bloques temáticos.</p> <p>ρ_i es el peso del bloque temático i-ésimo.</p> <p>\mathbf{b}_i el subíndice del bloque temático i-ésimo.</p>
\mathbf{b}_i	<p>n_i es el número de descriptores del bloque temático i-ésimo.</p> <p>α_j es 1 (ó -1) si el descriptor j-ésimo contribuye positivamente (negativamente) a la movilidad sostenible.</p> <p>ϖ_j es el peso del descriptor j-ésimo.</p> <p>v_j es el valor de referencia del descriptor j-ésimo.</p>

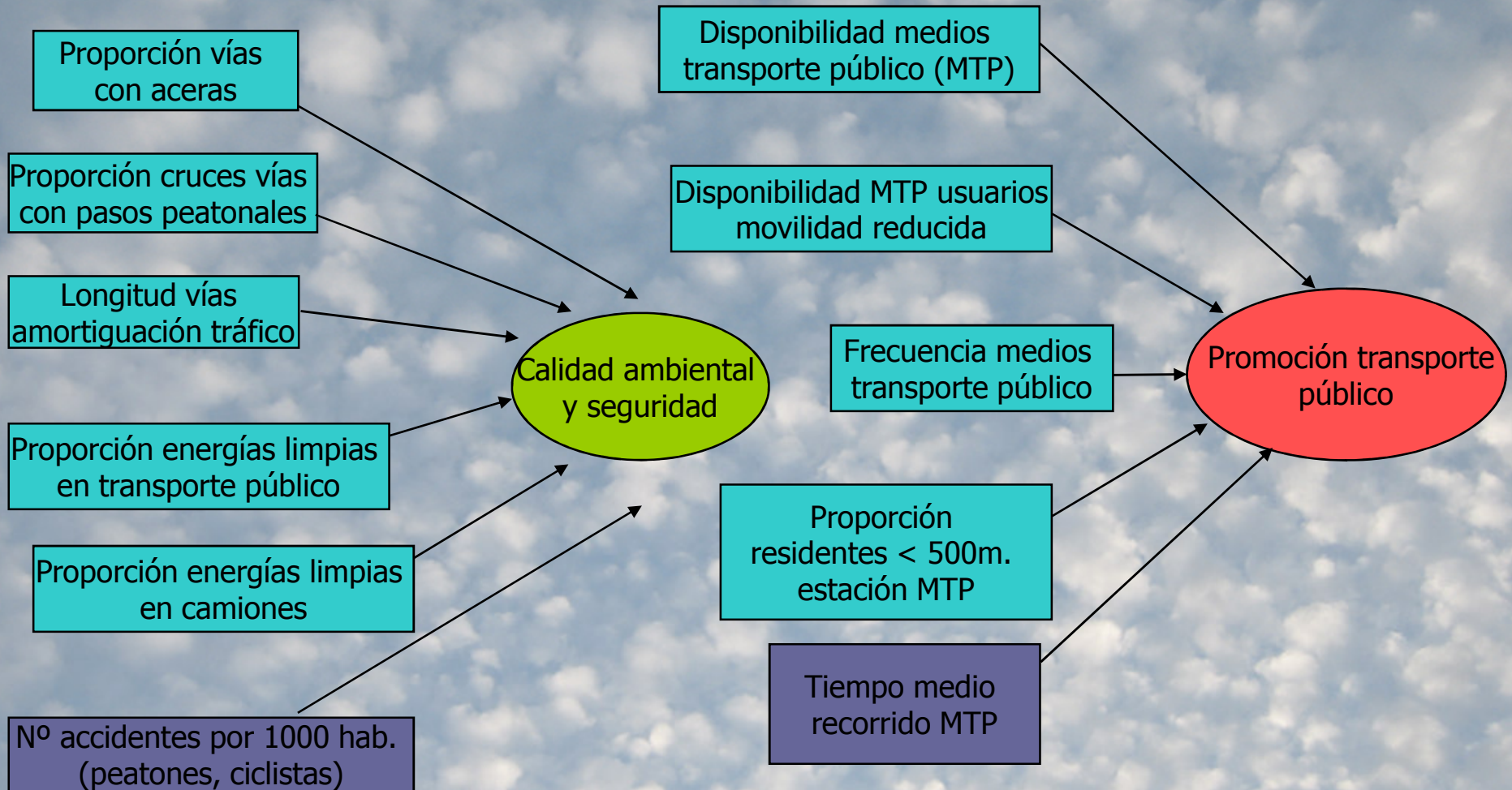
Etapas en la definición del índice MUS

- ▶ **Selección descriptores:** se determina una serie de descriptores significativos para la movilidad sostenible y se agrupan en bloques temáticos (**expertos**).
- ▶ **Asignación de pesos:** se calculan los pesos (**grado de importancia**) de cada bloque temático y dentro de ellos de cada descriptor (**análisis multicriterio**).
- ▶ **Obtención de valores de referencia:** se determina el valor normalizado de cada descriptor (**toma datos**).
- ▶ **Aplicación de la fórmula:** se sustituyen los pesos y valores de referencia en la fórmula y se obtiene el **MUS** ($0 < \text{MUS} < 1$).

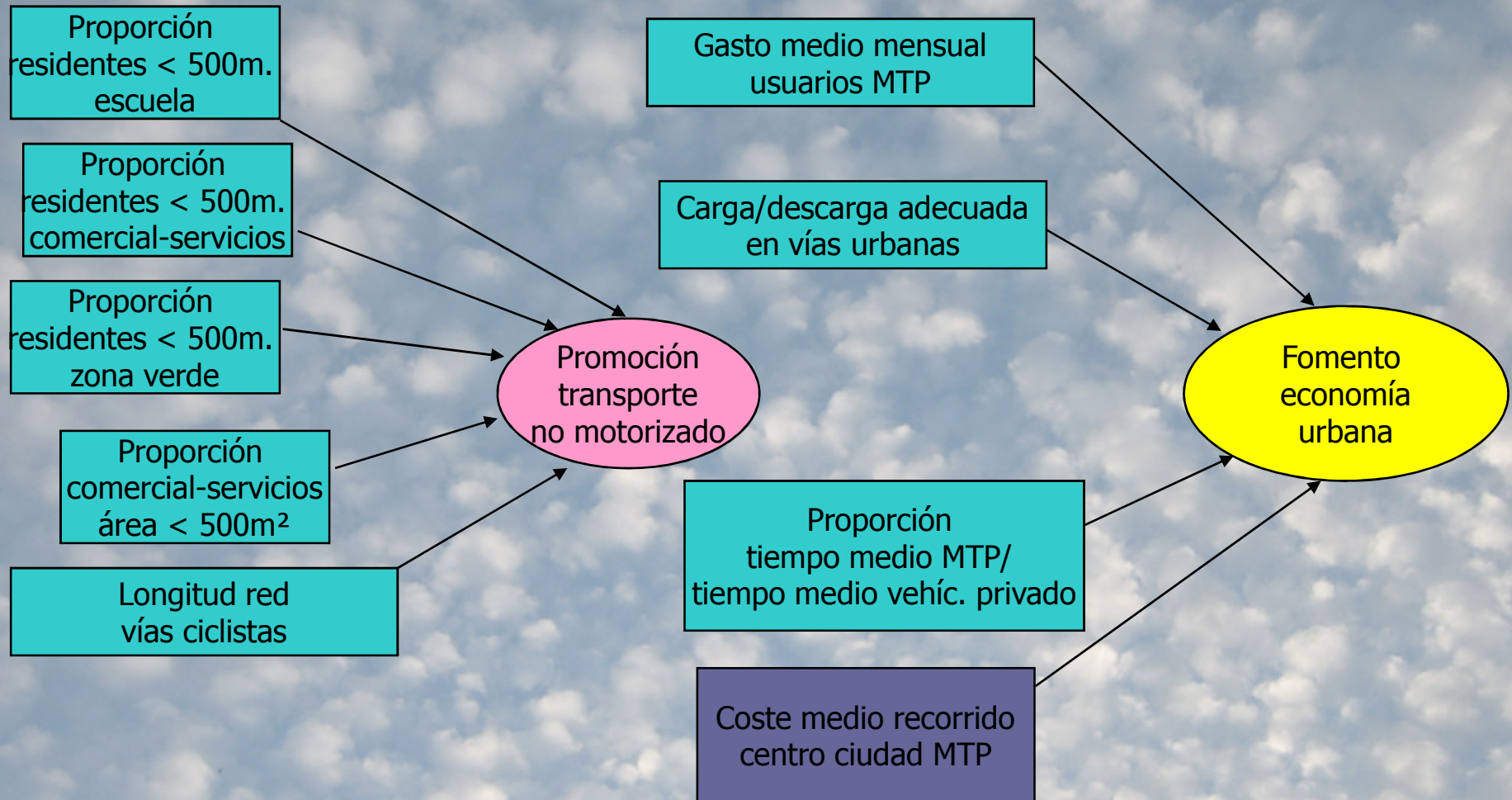
Bloques temáticos índice MUS

- ▶ Calidad ambiental y seguridad.
- ▶ Promoción del transporte público.
- ▶ Promoción del transporte alternativo no motorizado.
- ▶ Fomento de la economía urbana.
- ▶ Uso del vehículo privado.

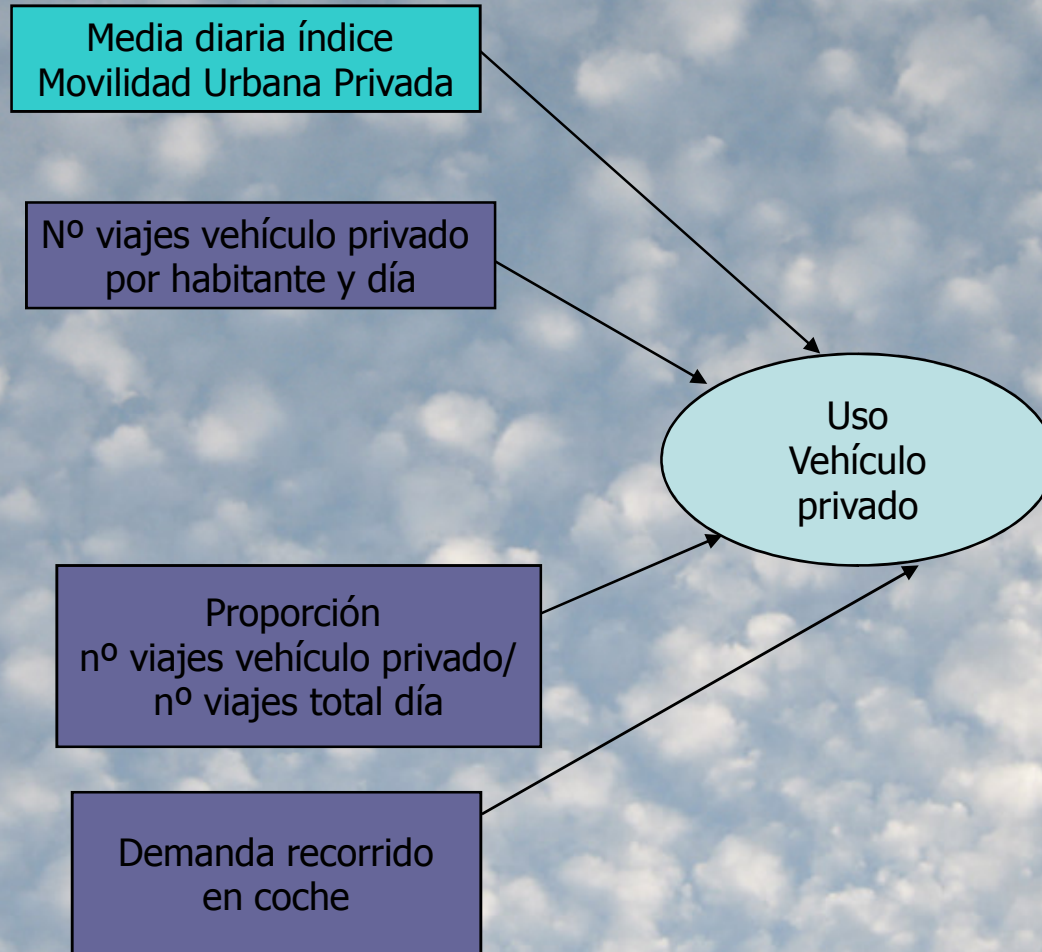
DESCRIPTORES MUS



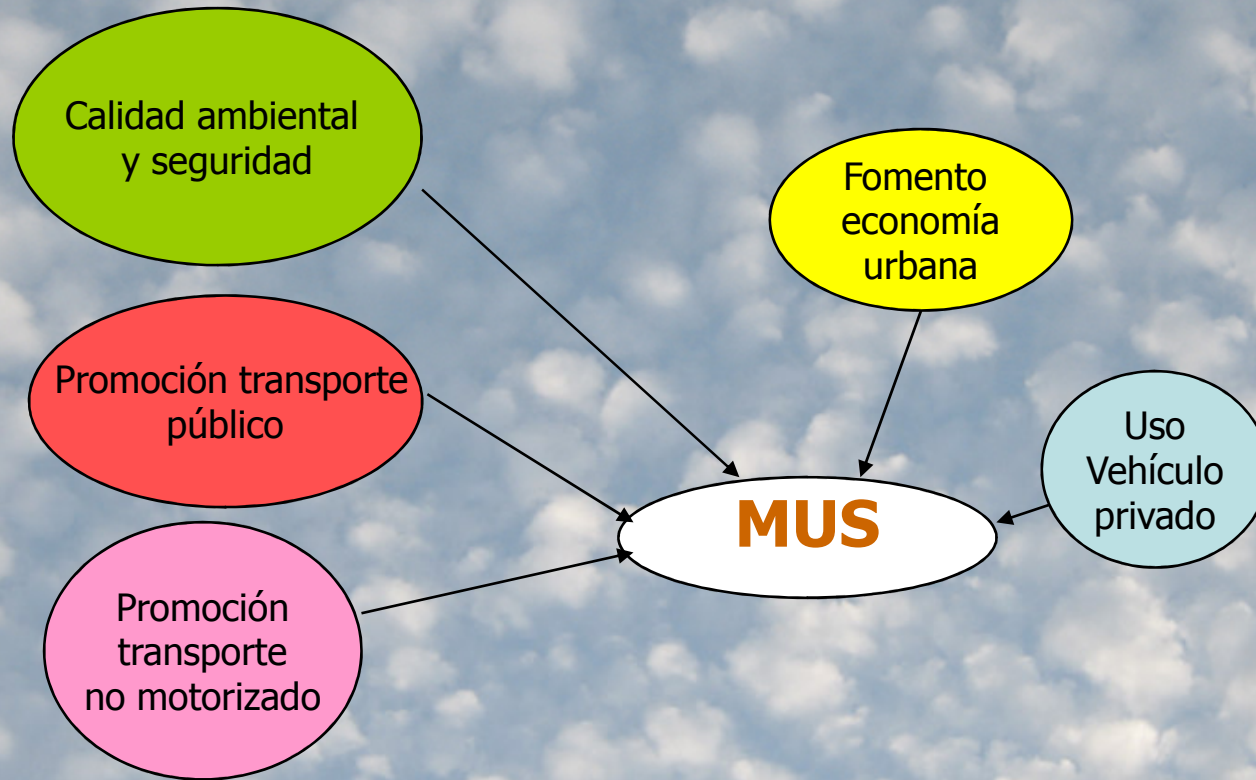
DESCRIPTORES MUS



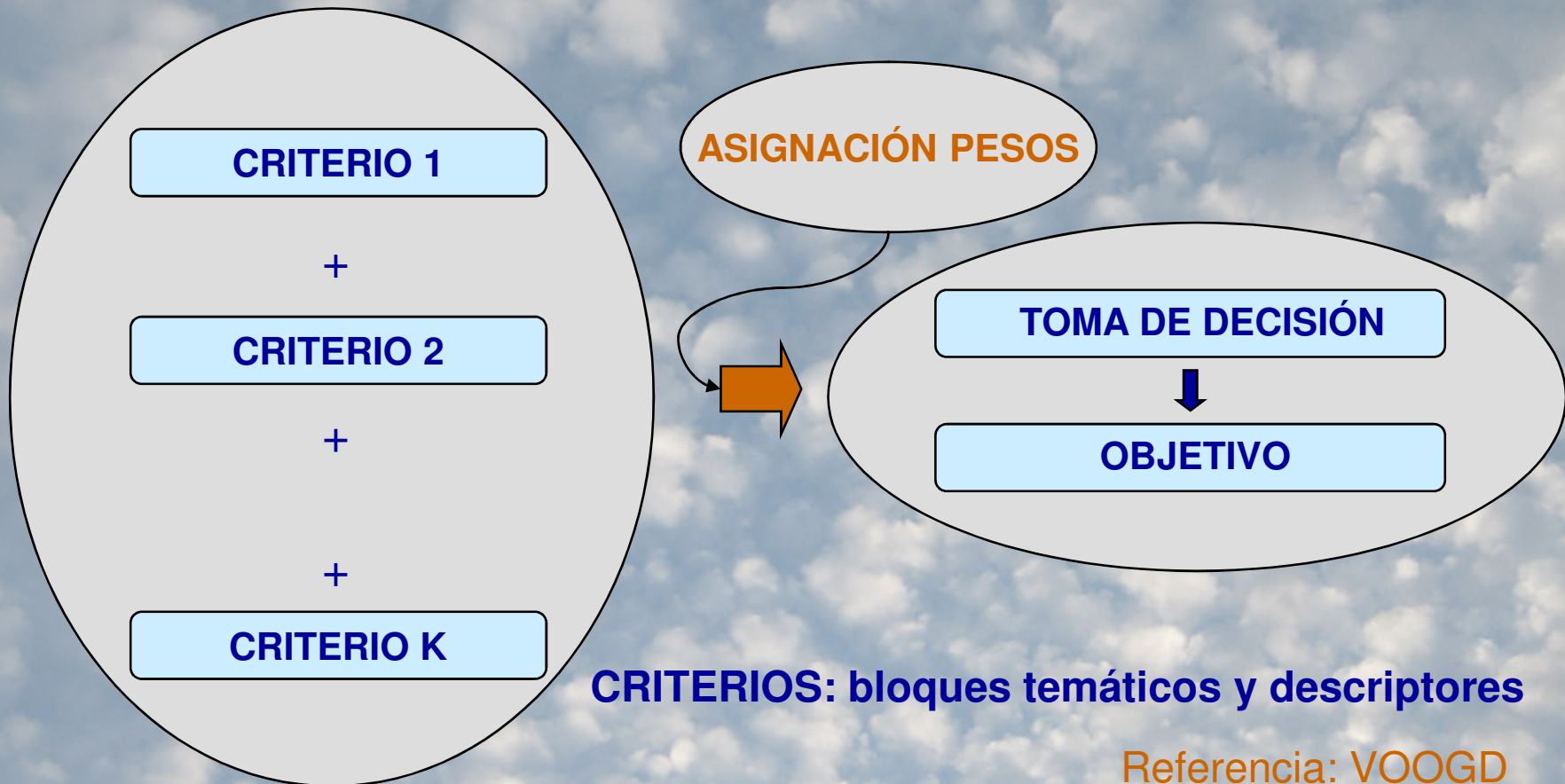
DESCRIPTORES MUS



BLOQUES TEMÁTICOS: MUS



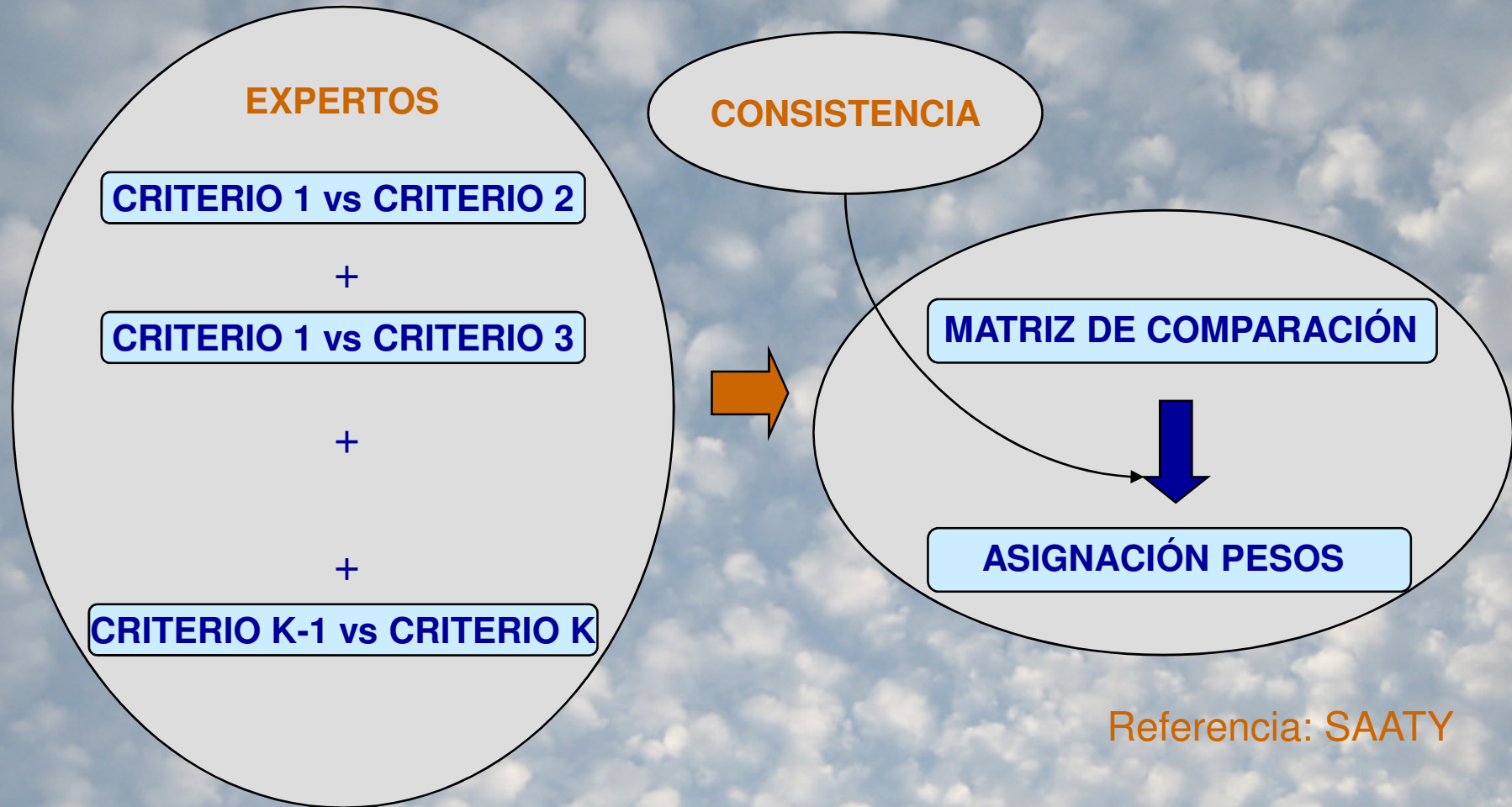
ANÁLISIS MULTICRITERIO → reducir subjetividad



CRITERIOS: bloques temáticos y descriptores

Referencia: VOOGD

“divide y vencerás” → DETERMINACIÓN PESOS



Referencia: SAATY

DETERMINACIÓN PESOS: EJEMPLO N=4
CRITERIOS C1, C2, C3, C4

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix}$$

A matriz 4 x 4 de comparación por parejas

DETERMINACIÓN PESOS: EJEMPLO N=4Elemento fila i columna j : a_{ij}

- 1 si C_i es **igual** de importante que C_j
- 3 si C_i es **poco más** importante que C_j
- 5 si C_i es **algo más** importante que C_j
- 7 si C_i es **bastante más** importante que C_j
- 9 si C_i es **mucho más** importante que C_j
- elementos de la **diagonal** se toman 1
- **simétricos** a_{ji} se toman **inversos** $1/a_{ij}$



Bastan

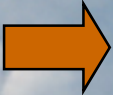
6 comparaciones

¡en vez de $4 \times 4 = 16!$

$$6 = (16 - 4) / 2 = (4 \times 3) / 2$$

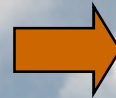
DETERMINACIÓN PESOS: OPINIÓN EXPERTOS

- **C1 es algo más importante que C3** → $a_{13}=5$
- **C2 es mucho más importante que C1** → $a_{21}=9$
- **C2 es poco más importante que C3** → $a_{23}=3$
- **C2 es poco más importante que C4** → $a_{24}=3$
- **C3 es igual de importante que C4** → $a_{34}=1$
- **C4 es algo más importante que C1** → $a_{41}=5$


$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & 5 & a_{14} \\ 9 & 1 & 3 & 3 \\ a_{31} & a_{32} & 1 & 1 \\ 5 & a_{42} & a_{43} & 1 \end{pmatrix}$$

DETERMINACIÓN PESOS: ¿CONSISTENCIA?simétricos a_{ji} se toman inversos $1/a_{ij}$ 

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1/9 & 5 & 1/5 \\ 9 & 1 & 3 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 \\ 5 & 1/3 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

**¿CONSISTENTE?**

- C3 es igual de importante que C4 $\rightarrow a_{34}=1$
- C4 es algo más importante que C1 $\rightarrow a_{41}=5$
- \rightarrow C3 es algo más importante que C1 $\rightarrow a_{31}=5$
- PERO**
- $a_{31}=1/5 \rightarrow$ C1 es algo más importante que C3
- **NO HAY CONSISTENCIA**

CONSISTENCIA $\leftrightarrow a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$

DETERMINACIÓN PESOS: BÚSQUEDA DE CONSISTENCIA

1. Revisar decisiones expertos hasta lograr consistencia.

2. Partir de una serie de decisiones independientes y obtener el resto imponiendo consistencia.



$$A = \begin{pmatrix} 1 & & 5 & 1/5 \\ & 1 & & 3 \\ 1/5 & & 1 & \\ 5 & 1/3 & & 1 \end{pmatrix}$$



$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1/15 & 5 & 1/5 \\ 15 & 1 & 75 & 3 \\ 1/5 & 1/75 & 1 & 1/25 \\ 5 & 1/3 & 25 & 1 \end{pmatrix}$$

CONSISTENCIA $\leftrightarrow a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$

DETERMINACIÓN PESOS: ¿CUÁLES SON?

- w_i : peso del criterio C_i
 $0 < w_i < 1$
- $a_{ij} = w_i/w_j$
relación entre pesos
- suma de pesos es 1
 $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$



- suma de los elementos de la columna j es el inverso del peso de C_j

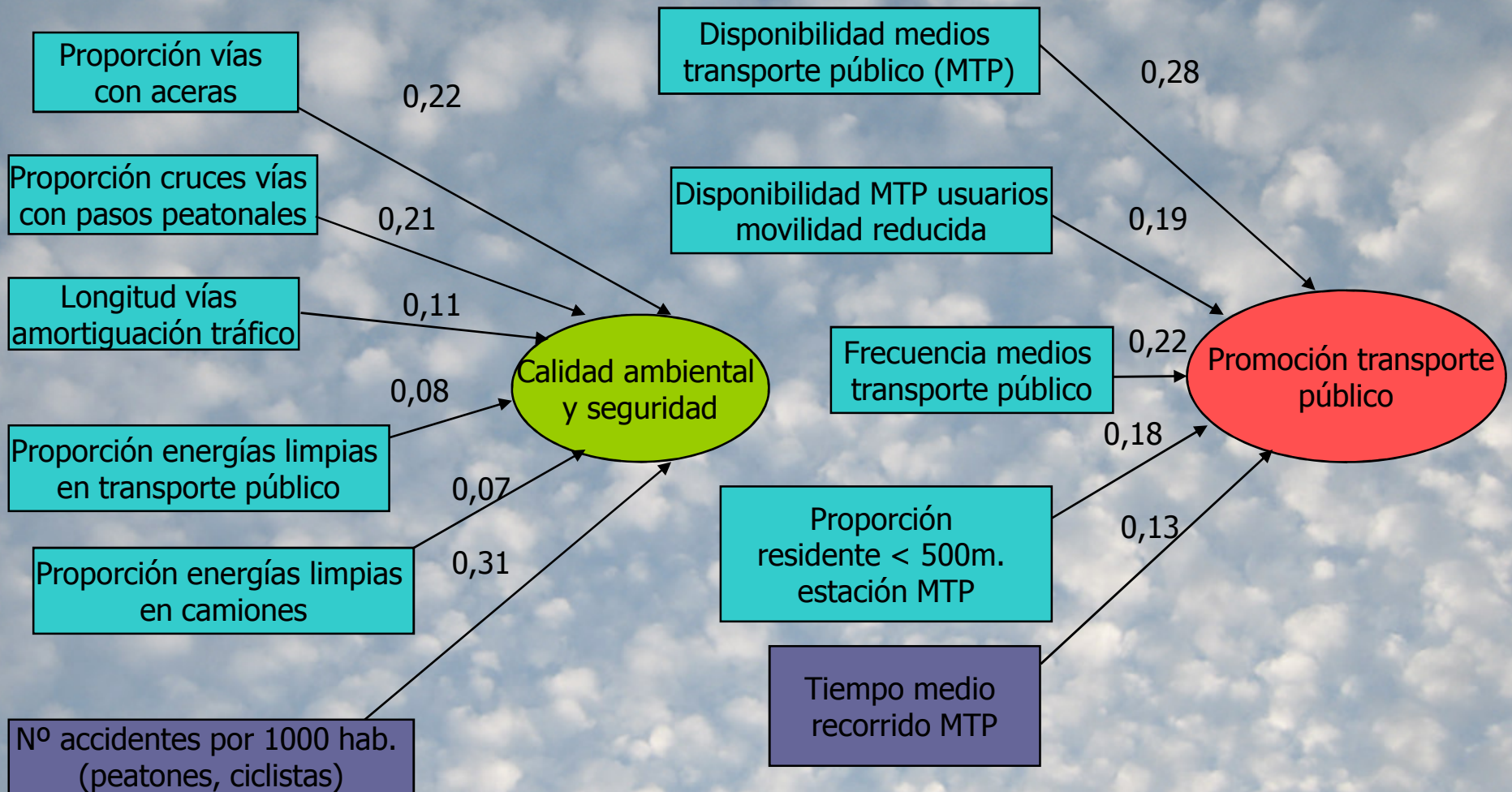
$$w_1/w_j + w_2/w_j + w_3/w_j + w_4/w_j =$$
$$(w_1 + w_2 + w_3 + w_4)/w_j = 1/w_j$$

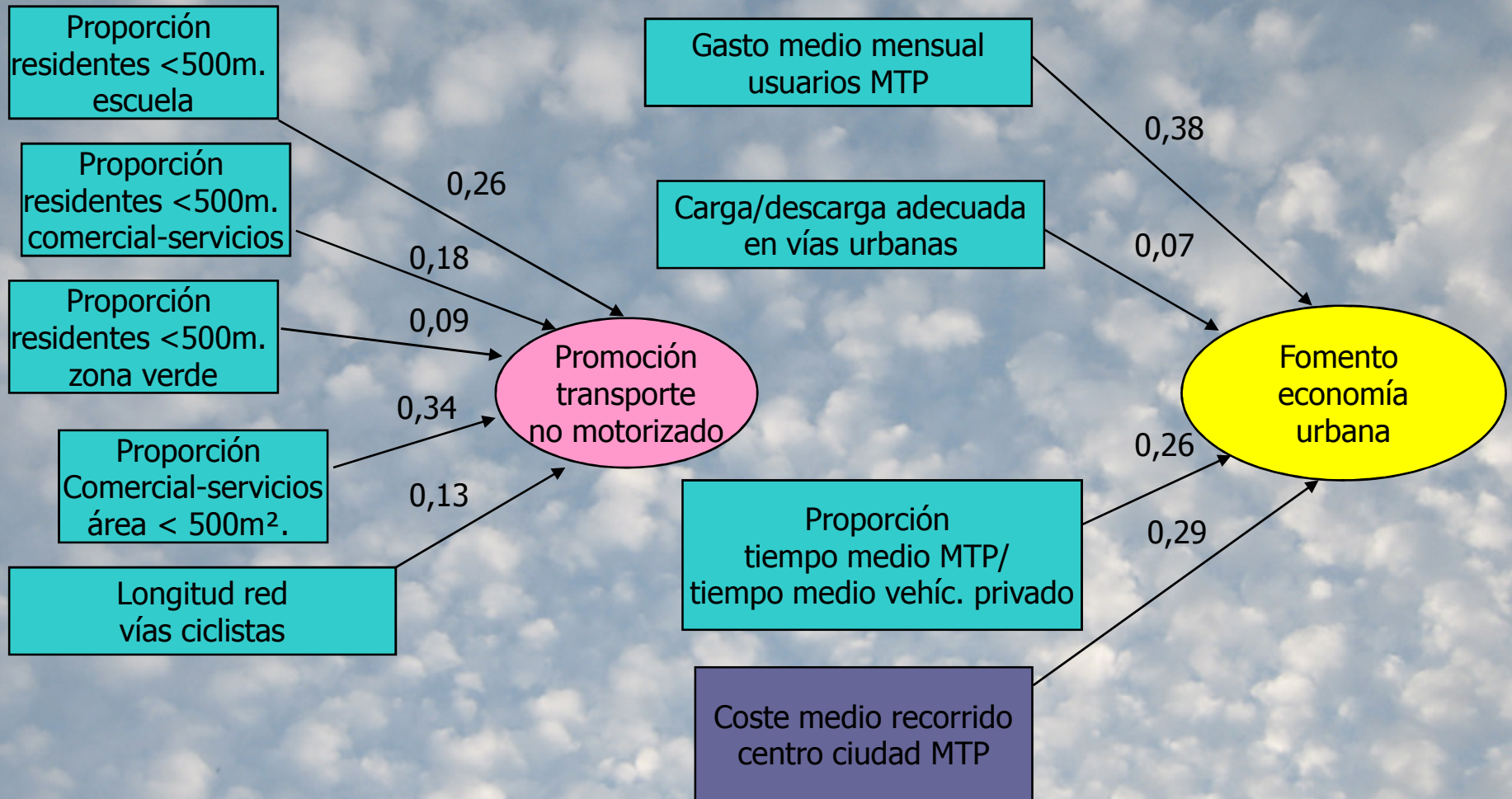


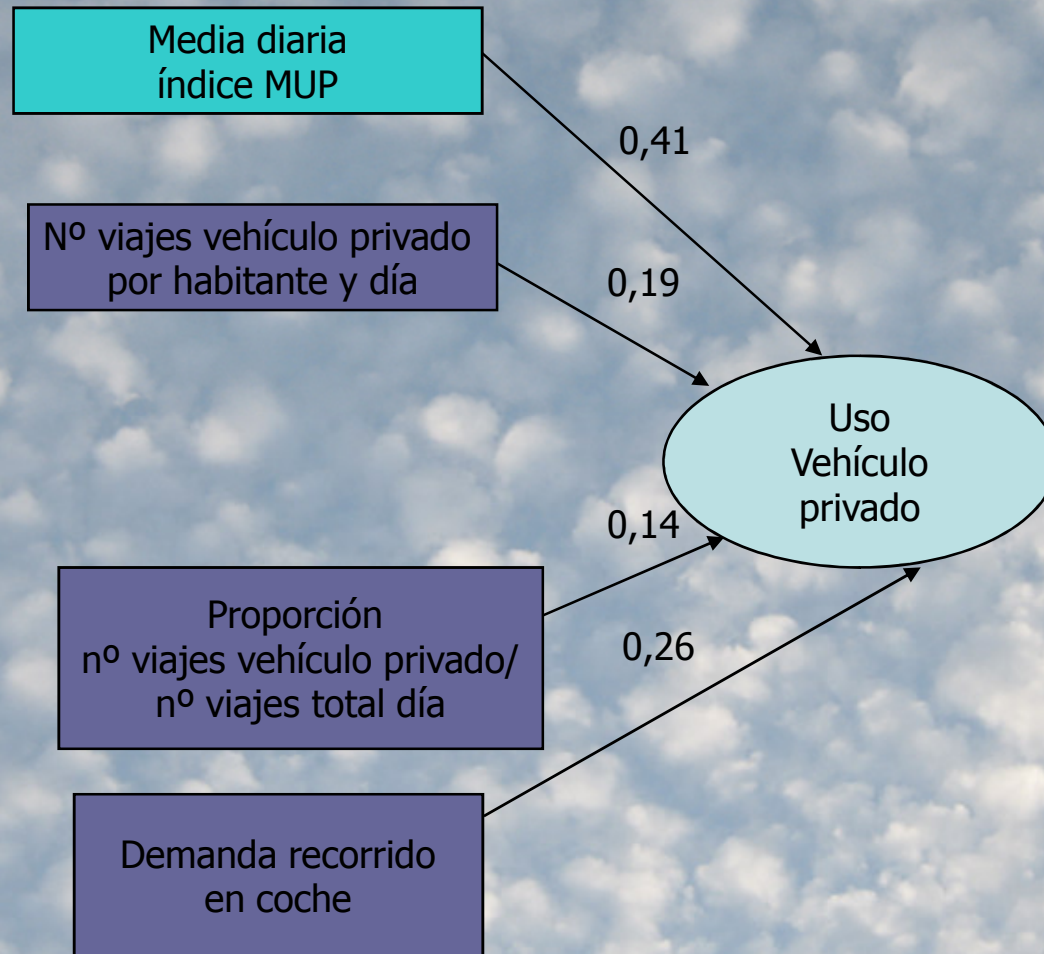
$$w_1 = 0,047$$
$$w_2 = 0,708$$
$$w_3 = 0,009$$
$$w_4 = 0,236$$

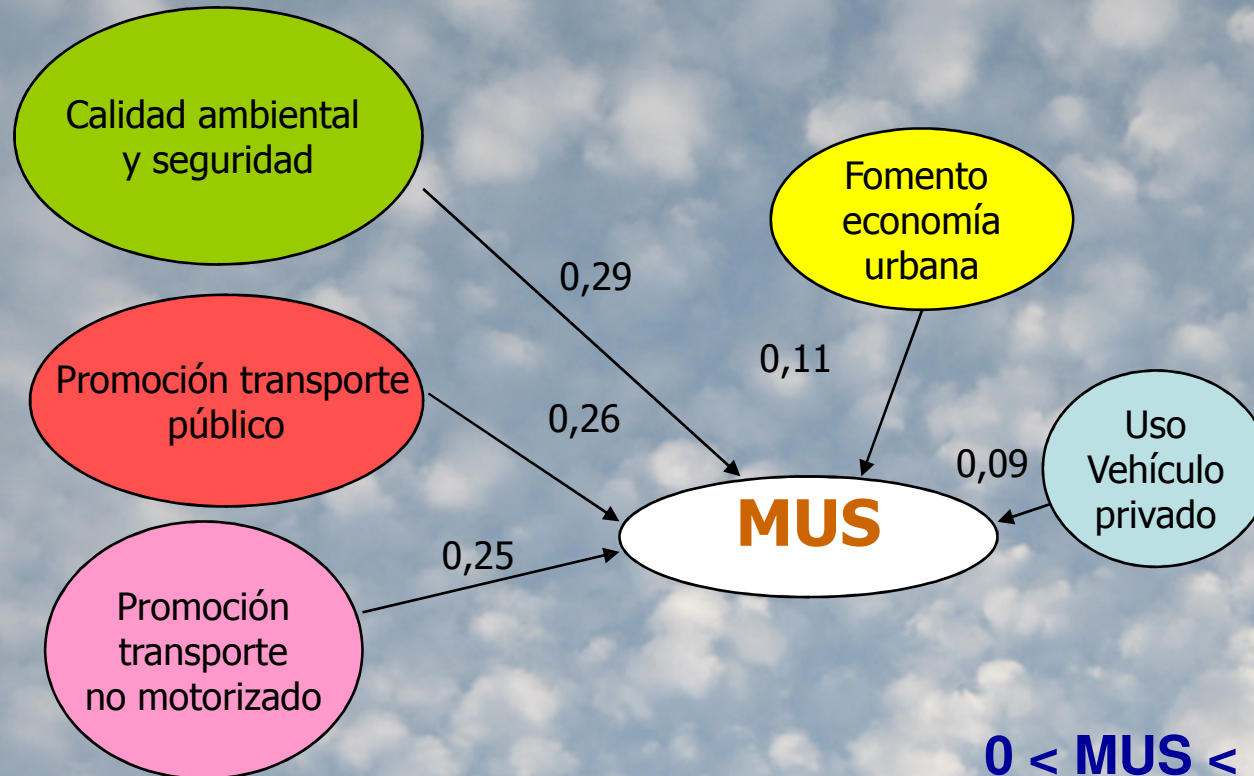
**¡POR
FIN!**

¿ÁLGEBRA LINEAL?
CONSISTENCIA → matriz A
tiene un único autovalor no nulo ($4=N$)
y el vector formado por los pesos
es un autovector
para ese autovalor





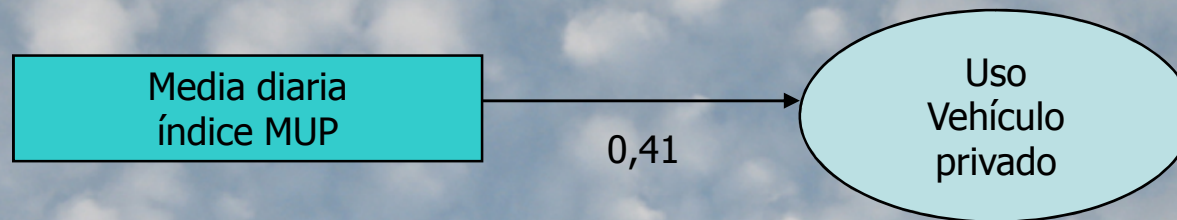




$$0 < \text{MUS} < 1$$

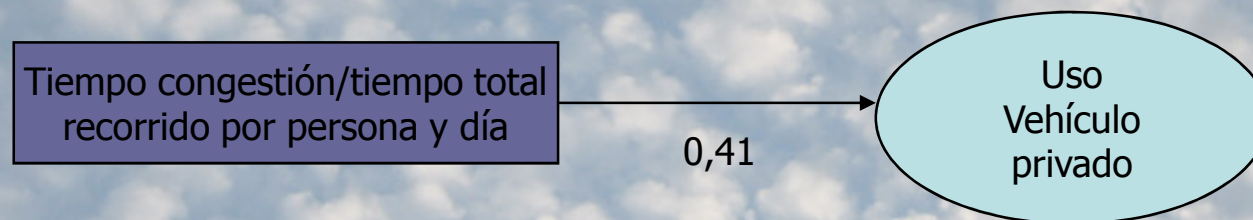
- **Termómetro de la movilidad urbana sostenible**
 - Posibilidad de comparar ciudades entre sí
 - Posibilidad de cálculo diario, mensual, etc.

ÍNDICE MOVILIDAD URBANA PRIVADA: MUP



Objetivo: definir un índice de movilidad urbana privada útil como termómetro de la movilidad urbana en vehículos privados, actualizado en cada momento.

Si no se dispone de este índice:

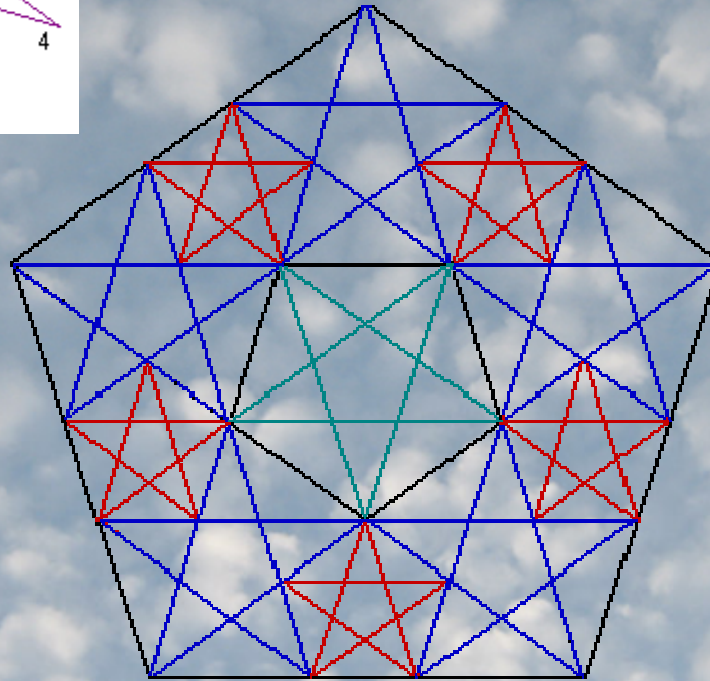
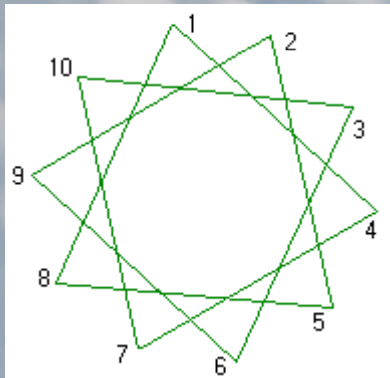
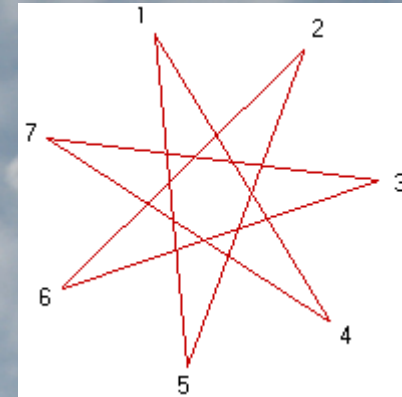
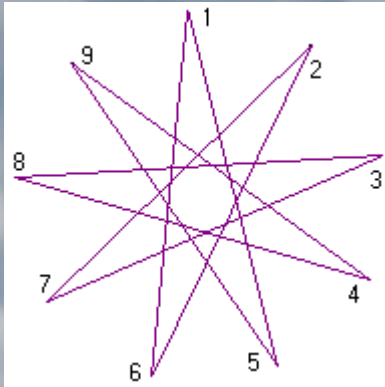


Etapas en la definición del índice MUP

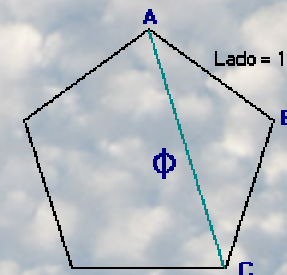
- ▶ **Selección trayectos descriptores y franjas horarias:** se determina una serie de trayectos significativos para la movilidad privada y se agrupan en bloques temáticos y se fijan unas franjas horarias a lo largo del día (*expertos*).
- ▶ **Obtención de tiempos por trayecto real:** los trayectos descriptores serían cubiertos de manera continua por vehículos pequeños, ecológicos, provistos de un sistema que registra el tiempo empleado por trayecto y lo envía a un centro de control (*toma datos*).
- ▶ **Cálculo de índice de movilidad por trayecto:** La proporción entre el tiempo real y el tiempo ideal (velocidad media ideal multiplicada por distancia recorrida) da un número entre 0 y 1, que mide la movilidad en ese trayecto para un vehículo. Haciendo la media de todos los vehículos que cubren el trayecto, se obtiene el índice de movilidad por trayecto.

Etapas en la definición del índice MUP

- ▶ **Asignación de pesos por trayectos:** combinando distintos trayectos, asignándoles pesos, tendremos un índice de movilidad urbana privada en un instante de tiempo determinado (**análisis multicriterio**).
- ▶ **Asignación de pesos por franjas horarias:** combinando distintos instantes, asignándoles pesos, tendremos un índice de movilidad urbana privada diario (**análisis multicriterio**).



"[...] si hay de la parte pequeña a la parte grande la misma relación que de la grande al todo" (Vitrubio). **Divina Proporción.**



Formación Conento: enero 2008

DETERMINACIÓN PESOS: BÚSQUEDA DE CONSISTENCIA

1. Rev. decis. expertos.

2. Partir de una serie de decisiones independientes y obtener el resto imponiendo consistencia.



$$A = \begin{pmatrix} 1 & & 5 & 1/5 \\ & 1 & & 3 \\ 1/5 & & 1 & \\ 5 & 1/3 & & 1 \end{pmatrix}$$



$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1/15 & 5 & 1/5 \\ 15 & 1 & 75 & 3 \\ 1/5 & 1/75 & 1 & 1/25 \\ 5 & 1/3 & 25 & 1 \end{pmatrix}$$

¿CUÁNTAS DECISIONES INDEPENDIENTES BASTAN?

CONSISTENCIA $\leftrightarrow a_{ij} \times a_{jk} = a_{ik}$

¿INNOVAR?

innovar.(Del lat. *innovāre*).

1. tr. Mudar o alterar algo, introduciendo novedades.
2. tr. ant. Volver algo a su anterior estado.

“No es tanto ver lo que aún nadie ha visto, sino pensar lo que todavía nadie ha pensado sobre aquello que todos ven.”