



Maestría en Ingeniería Geotécnica - MIG
(Carrera Binacional Argentina - Alemania)



Asignatura ACMIG10:

Uso sustentable de residuos sólidos y geomateriales

Dra. Irma MERCANTE

itmercante@gmail.com

Dr. Juan Pablo IBAÑEZ

jpablo.doc@gmail.com



Maestría en Ingeniería Geotécnica - MIG
(Carrera Binacional Argentina - Alemania)



Geotécnica de RSU

Introducción

Uso sustentable de residuos sólidos y geomateriales

Dra. Irma MERCANTE

Dr. Juan Pablo IBAÑEZ

- **Geotecnia**

Espacio propio del saber y el hacer de combina disciplinas como:

- Geología, Geofísica e Hidrología aplicadas a la Ingeniería Civil
- Mecánica de Suelos y Rocas
- Ingeniería de Cimentaciones

- **Geotecnia Ambiental**

Son los saberes y técnicas de la Geotécnia aplicados a problemas ambientales. Fácil extensión a los residuos mineros y algunos industriales.

- **Geotecnia de RSU**

Especialidad de la Geotécnia que estudia el material RSU, a partir de la extensión y adaptación (más compleja) de las técnicas aplicadas a suelos.

- **Geotecnia de RSU**

Las herramientas de la Geotécnia se aplican al estudio de los RSU considerándolo un material que se aproxima a los suelos. A partir de esta hipótesis, se extienden y adaptan las siguientes técnicas y métodos:

- Caracterización mecánica
- Clasificación
- Compactación
- Estabilidad
- Compresibilidad y asientos
- Mediciones en campo y laboratorio
- Monitoreo en campo

- **Geotecnia de RSU**

La **Geotécnia tradicional** se basa en ciertas ciencias de base:

- Matemática
- Física
- Química
- Mecánica

La **Geotécnia de RSU** incorpora y dialoga con otras disciplinas

- Ambiente
- Biología
- Sociedad

- **Desafíos de la Geotecnia de RSU**

Alto grado de heterogeneidad y dispersión de parámetros del material.

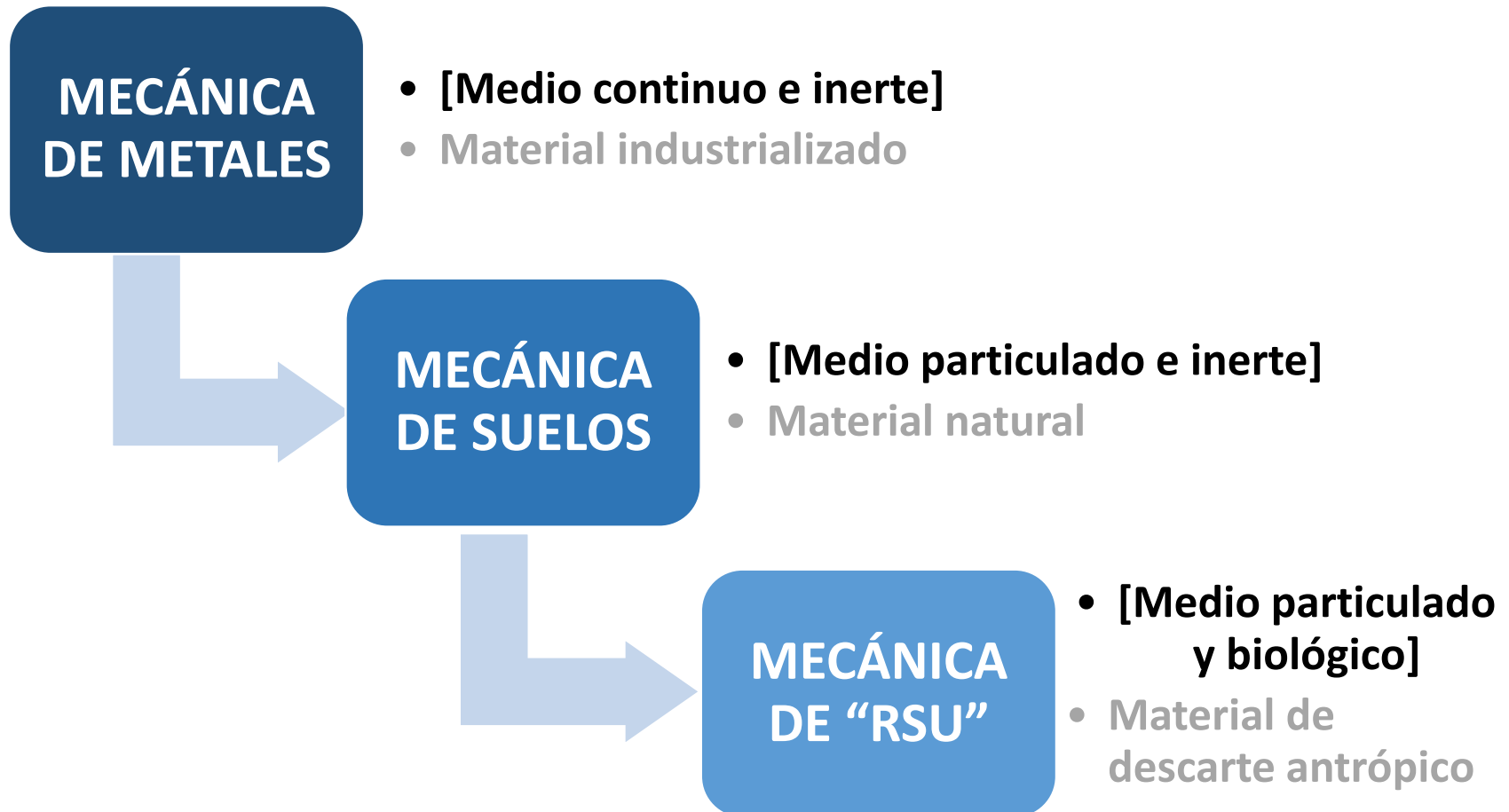


- **Desafíos de la Geotecnia de RSU**

Confianza y aplicabilidad de los métodos de cálculo tradicionales.



- **Mecánica de RSU**



- **Geotecnia de RSU**

La **Geotécnia tradicional** se basa en ciertos modelos conceptuales acerca del comportamiento mecánico del material suelo:

- **Material rígido — plástico**

- Análisis de estabilidad por equilibrio límite

- **Material elástico lineal (suelos gruesos)**

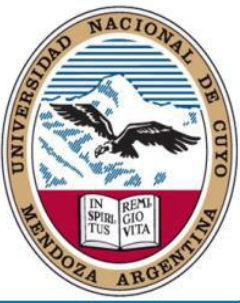
- Análisis de asientos instantáneos

- **Material susceptible de consolidación (suelos finos)**

- Análisis de asientos diferidos

La **Geotécnia de RSU** debe atender la complejidad de un material con:

- **Alta compresibilidad variable en el tiempo**
- **Pérdida de masa y alteración de composición en el tiempo**



Maestría en Ingeniería Geotécnica - MIG
(Carrera Binacional Argentina - Alemania)



Geotécnica de RSU

Definiciones sobre RSU

Uso sustentable de residuos sólidos y geomateriales

Dra. Irma MERCANTE

Dr. Juan Pablo IBAÑEZ

• Definición e impacto de los RSU

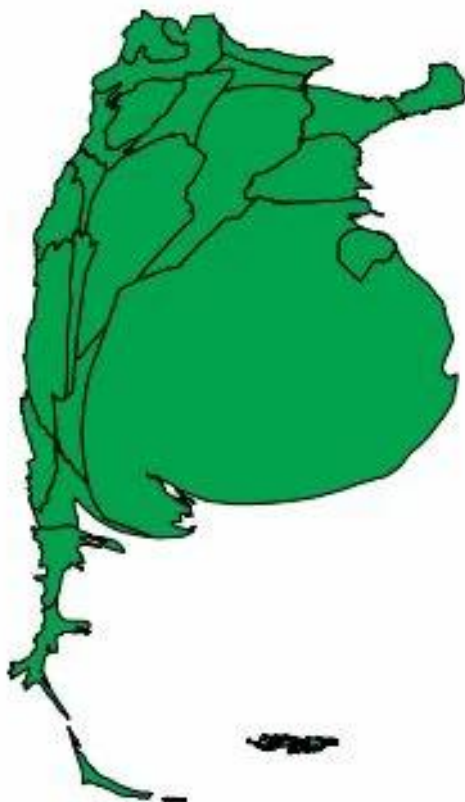
- Residuo es todo elemento, material, objeto o sustancia que, como consecuencia de los procesos de consumo y desarrollo de actividades humanas, es desechado o abandonado.
- Los residuos sólidos urbanos (RSU) son análogos a los denominados domiciliarios y pueden ser de origen residencial, urbano, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional, con excepción de aquellos que se encuentren regulados por normas específicas.
- La cantidad de RSU que generan (directa o indirectamente) los habitantes de un área refleja las condiciones de producción y consumo de la sociedad. Los residuos repercuten a largo plazo en la salud humana y el ambiente.
- Cuando las instalaciones de recuperación y disposición final de RSU no cumplen con los requisitos mínimos de impermeabilidad de los suelos donde se emplazan, ni con las distancias a las napas freáticas, a los cursos de aguas superficiales, a los centros urbanos u otras áreas susceptibles, se producen impactos negativos sobre el ambiente y la salud humana.

- **Definición e impacto de los RSU**

- La población en Argentina, altamente concentrada en el sector urbano (90 %), reporta una cobertura de recolección de RSU del 99,8 %, una tasa de disposición final en rellenos sanitarios del 64,7 % y una tasa de generación de 1,15 kg/hab/día de RSU (BID-AIDIS-OPS).
- La cobertura de disposición final en RS del 64,7 % de la población esconde inequidades geográficas. Esta cobertura es menor en las regiones Norte (50,1 %) y Cuyo-Mesopotamia (15,2 %), siendo que en el resto del país es de 79,4 %.
- El remanente 35,3 % de la población cuenta con una disposición final inadecuada: 9,9 % en vertederos controlados, 24,6 % en basurales a cielo abierto.

• RSU en Argentina

por provincia
(en toneladas diarias, 2015)



Fuente: Elaboración propia en base a Diagnóstico de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos en la Argentina, del Banco Mundial.

Región	Provincias	Cantidad de departamentos	Departamentos que cuentan con sistemas de separación de RSU	
			Cantidad	(%)
Patagonia	Chubut	15	6	40%
	Neuquén	16	3	19%
	Río Negro	13	5	38%
	Santa Cruz	7	3	43%
	Tierra del Fuego	3	1	33%
Cuyo	La Rioja	18	4	22%
	Mendoza	18	7	39%
	San Juan	19	11	58%
	San Luis	9	3	33%
NOA	Catamarca	16	1	6%
	Jujuy	16	2	13%
	Salta	23	4	17%
	Stgo. del Estero	27	5	19%
	Tucumán	17	1	6%
NEA	Chaco	25	13	52%
	Corrientes	25	1	4%
	Formosa	9	0	0%
	Misiones	17	2	12%
Centro	Buenos Aires	134	102	76%
	Partidos GBA	33	16	48%
	Interior Bs. As.	101	63	62%
	CABA	1	1	100%
	Córdoba	26	4	15%
	Entre Ríos	17	11	65%
	La Pampa	22	9	41%
	Santa Fe	19	12	63%
Total País		512	187	37%

Fuente: Informe del Estado del Ambiente 2016, elaborado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

- Los residuos pueden transformarse en un verdadero “infierno”



- Los residuos también pueden tener vida eterna o resucitar,
o al menos vivir mas que nosotros...



Dos inmigrantes alemanes Franz Schneider y Fred Poeppig fundaron en 1925 una empresa para elaborar condimentos a base de mostaza: la Fábrica Argentina de Mostaza.

Importaron maquinaria para ofrecer un producto similar al que se consumía en Europa. Lo hacían con la marca **Supra**.

La marca de condimentos pasó a formar parte de Refinerías de Maíz en 1999 y al año siguiente esta se fusionó con **Unilever**, lo que marcó el fin de la marca **Supra**.



Maestría en Ingeniería Geotécnica - MIG
(Carrera Binacional Argentina - Alemania)



Geotécnica de RSU

Caracterización de RSU

Uso sustentable de residuos sólidos y geomateriales

Dra. Irma MERCANTE

Dr. Juan Pablo IBAÑEZ

- Composición de los RSU

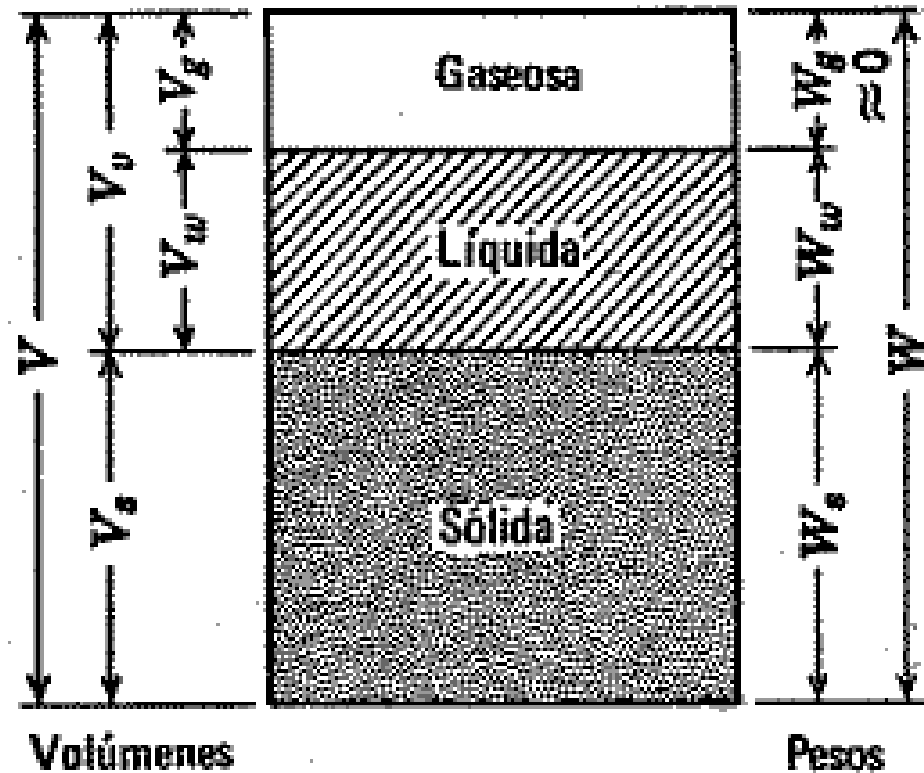
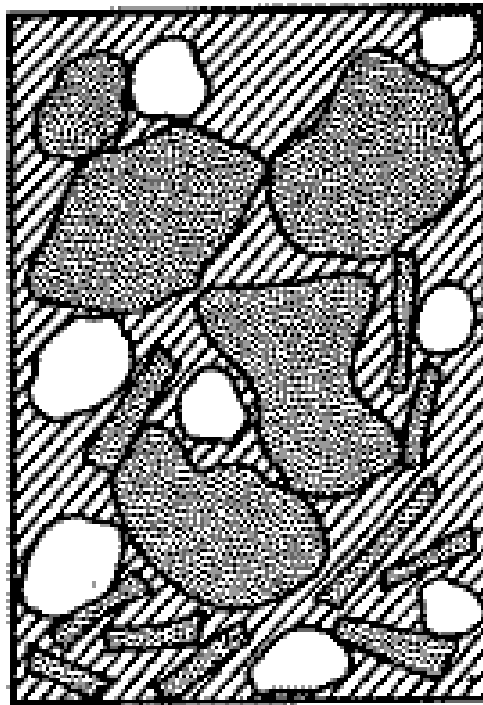
- Fases
- Consistencia
- Granulometría
- Clasificación

- Propiedades físicas

- Peso Específico (densidad)
- Contenido de Humedad
- Granulometría
- Permeabilidad
- Temperatura

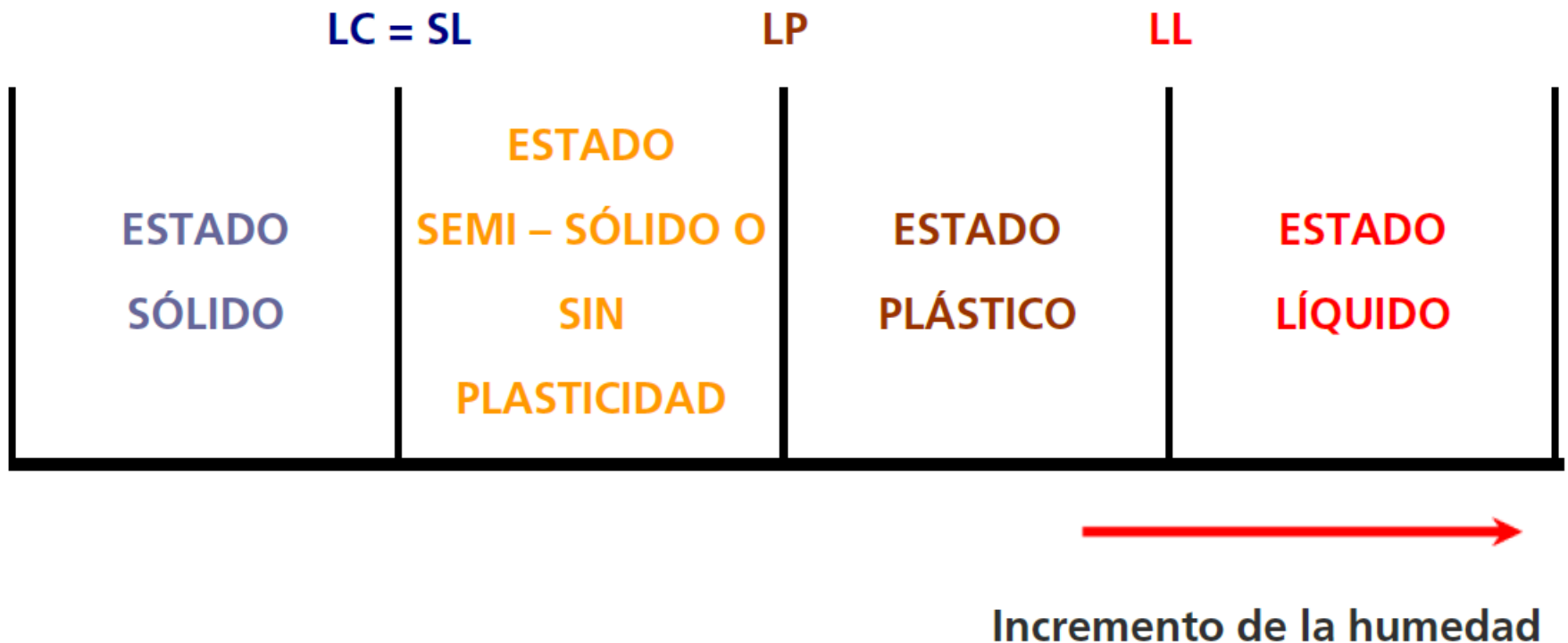
• Fases del suelo y de los RSU

- **SÓLIDOS** = %INICIAL +/- %EN EL TIEMPO
- **FLUIDOS** = %INICIAL +/- %EN EL TIEMPO
- **GASES** = %INICIAL +/- %EN EL TIEMPO



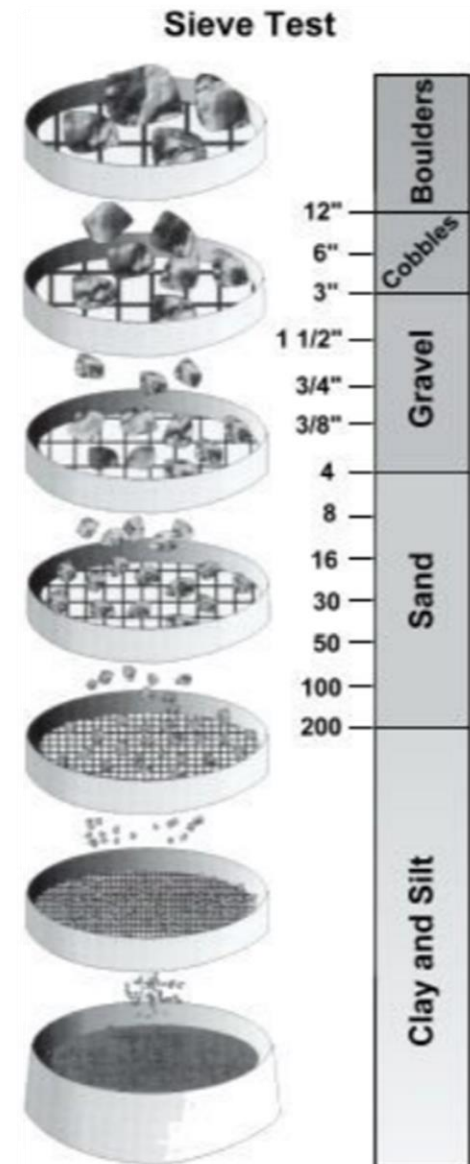
- **Consistencia del suelo y de los RSU**

- **SÓLIDO** = CON RESISTENCIA AL CORTE
- **PLÁSTICO** = RESISTENCIA AL CORTE CON DEFORMACIONES
- **LÍQUIDO** = SIN RESISTENCIA AL CORTE



• Granulometría del suelo y de los RSU

- **Suelos gruesos** = arenas y gravas (rígidos y resistentes)
- **Suelos finos** = limos y arcillas (blandos y menos resistentes)
- **Suelos orgánicos** = turbas (muy blandos y poco resistentes)



• Clasificación geotécnica de RSU

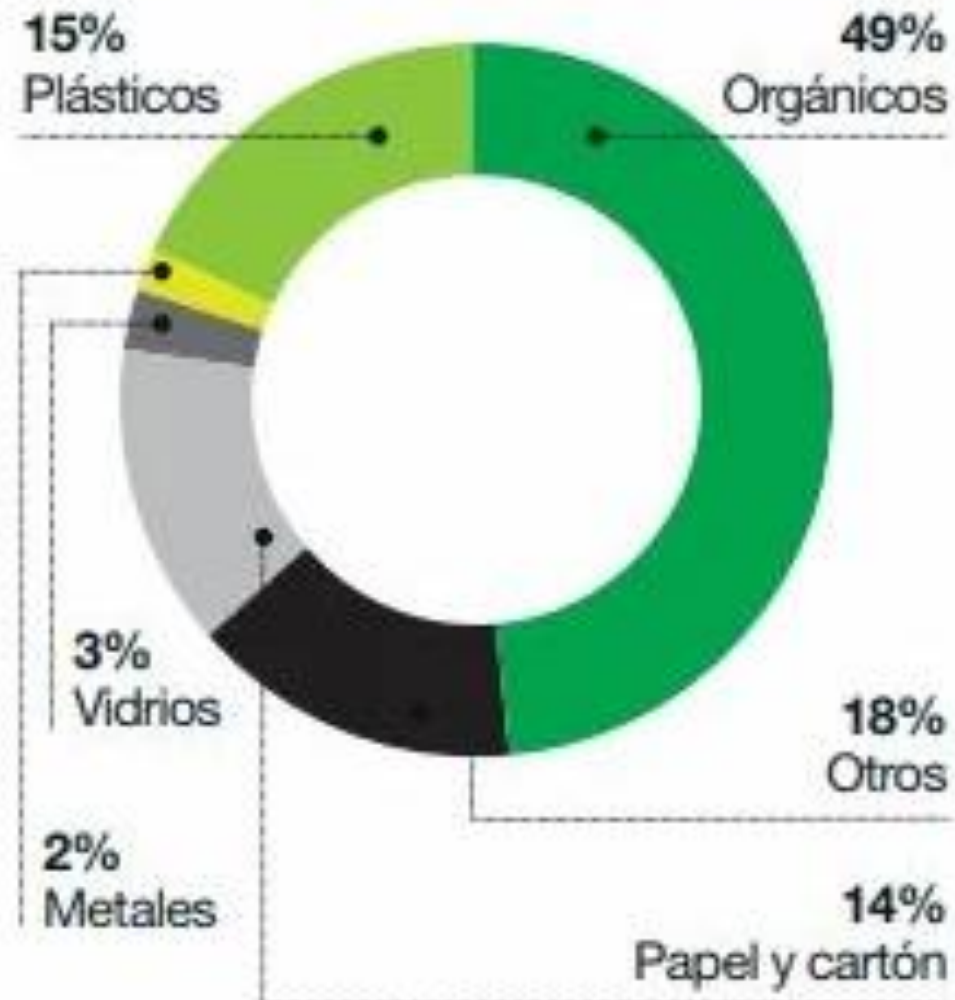
Desde un punto de vista geotécnico, Grisolia & Napoleoni (1996) definen los residuos sólidos como un medio multifacético, igualmente que los suelos, constituidos por **fases sólidas, líquidas y gaseosas**, y los clasifican en:

- **Materiales inertes estables** (metales, vidrios, escombros), cuyo comportamiento es asumido *como* el de un suelo heterogéneo de granulometría gruesa.
- **Materiales altamente deformables** (cartón, plástico y textiles) que presentan grandes deformaciones *como* los suelos blandos, además de un comportamiento anisótropo.
- **Materiales fácilmente degradables** (materiales orgánico, vegetales, restos de comidas) que pasan por transformaciones físico-químicas, causando reducción de volumen y generando gases y líquidos *como* los suelos orgánicos.

• Composición de los RSU

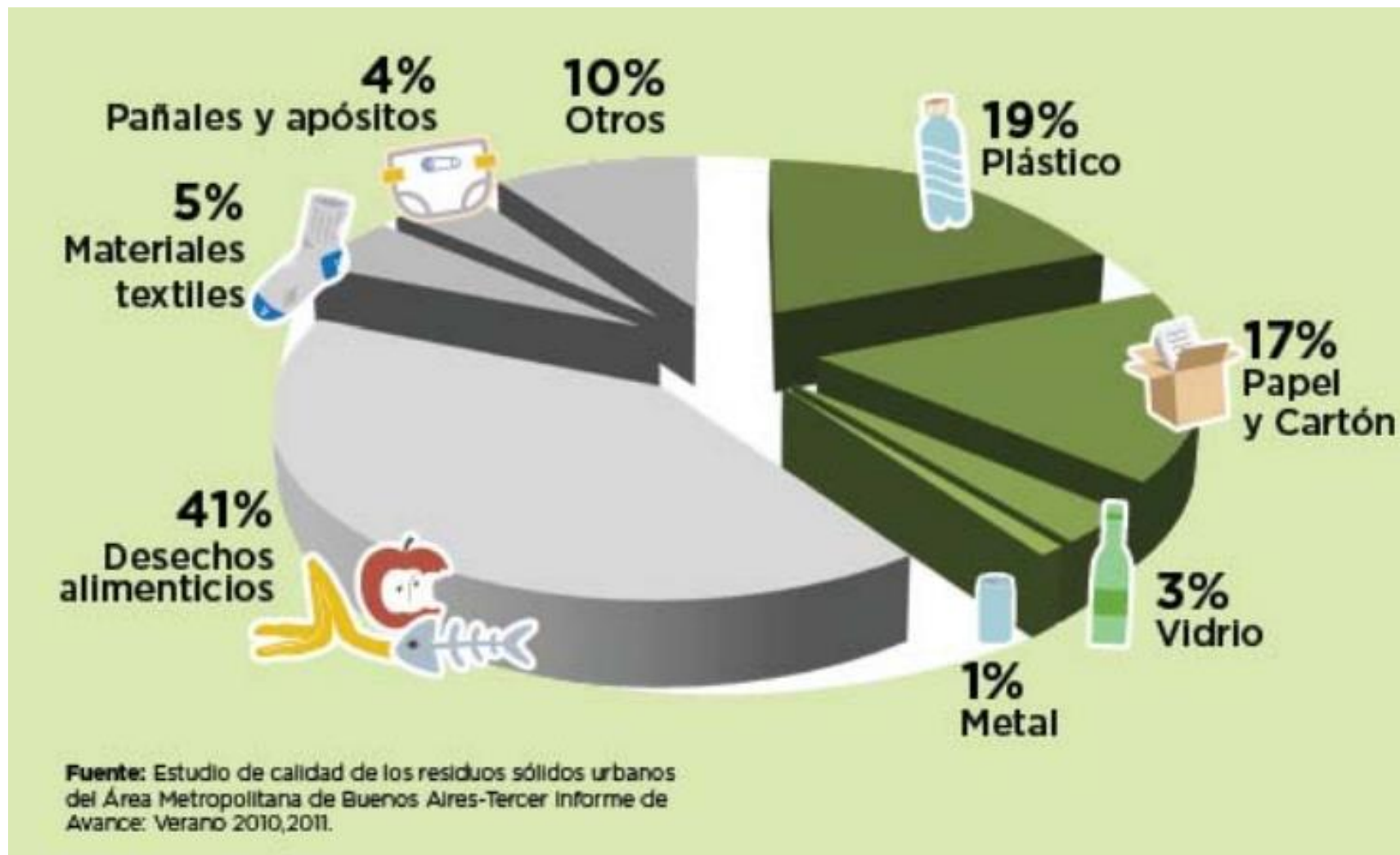
- Composición es la determinación EN PESO de los componentes que constituyen el residuo sólido. La información sobre la composición de los residuos sólidos es importante para evaluar las necesidades de equipos, sistemas y planes de gestión.
- En una comunidad en general, la proporción de **residuo doméstico** es del orden del 50 y hasta el 75% en los países latinos.
- Un **muestreo** puede ser la carga de un camión que proceda de una ruta típica de recorrido, en un día laborable, en una zona residencial. Se realiza un cuarteo de la carga, se toman los cuartos opuestos hasta obtener una muestra representativa y luego analizarla.
- Para una **investigación in situ**, una muestra de residuos puede ser obtenida de pozos o cavas exploratorias. Volúmenes de aproximadamente 1,5m³ de material son suficientes en general.

- RSU en Argentina (promedio)



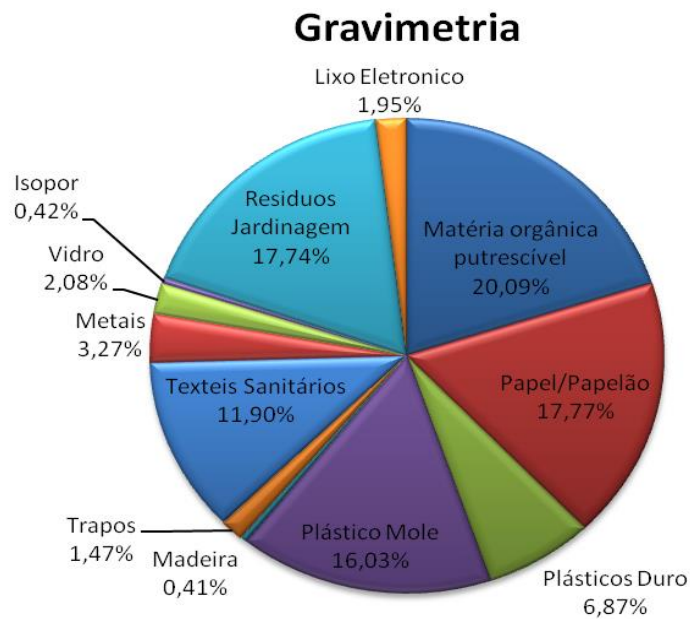
(Argentina.Gob.ar 2018)

- RSU en Área Metropolitana de Buenos Aires



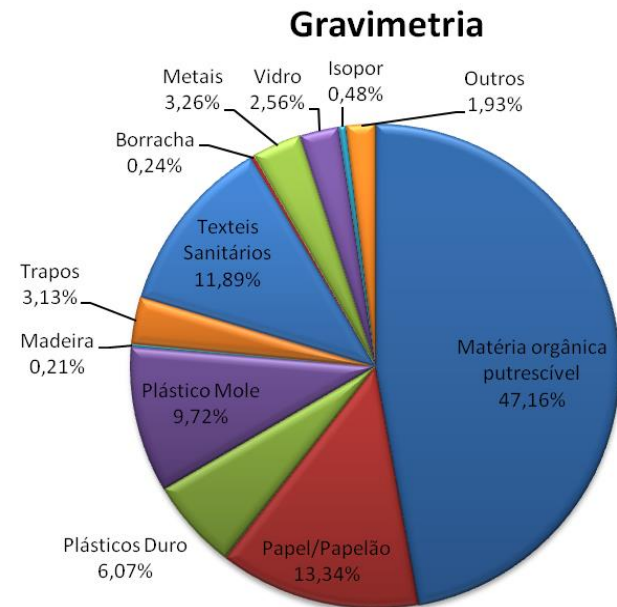
• RSU en Rio de Janeiro, Brasil

Ruta de ALTO poder adquisitivo



Plásticos + Papel y cartón + Vidrio
41%

Ruta de BAJO poder adquisitivo



Plásticos + Papel y cartón + Vidrio
32%

- Composición de los RSU

- Fases
- Consistencia
- Granulometría
- Clasificación

- **Propiedades físicas**

- **Peso Específico (densidad)**
- **Contenido de Humedad**
- **Granulometría**
- **Permeabilidad**
- **Temperatura**

- Propiedades físicas de algunos suelos

Tabla 1.4. Propiedades típicas de algunos suelos naturales (basada en Terzaghi y Peck, 1967)

Descripción	Porosidad n (%)	Relación de vacíos e	Contenido de humedad	
			$S_r = 1$ w (%)	Densidad (Mg/m ³) ρ_d ρ_s
Arena uniforme suelta	46	0.85	32	1.44 1.89
Arena uniforme densa	34	0.51	19	1.75 2.08
Arena bien gradada suelta	40	0.67	25	1.59 1.98
Arena bien gradada densa	30	0.43	16	1.86 2.16
Tilita glacial bien gradada	20	0.25	9	2.11 2.32
Arcilla glacial blanda	55	1.20	45	1.21 1.76
Arcilla glacial dura	37	0.60	22	1.69 2.06
Arcilla ligeramente orgánica blanda	66	1.90	70	0.92 1.57
Arcilla muy orgánica blanda	75	3.00	110	0.68 1.43
Arcilla montmorilonítica blanda (bentonita)	84	5.20	194	0.44 1.28
Turba amorfa	91	10	500	0.18 1.09
Turba fibrosa	94	15	1,000	0.09 1.03

• Peso específico (densidad) de los RSU

El peso específico de residuos depende de varios factores como son:

- La composición,
- La condición de compactación,
- La degradación con el tiempo y
- La presión de tapada.

El peso específico γ define como el peso de residuos por unidad de volumen en (t/m³, Kg/m³, kN/m³). En el caso de los RSU, hay que hacer referencia si se trata de RSU **compactados** o **no compactados**. Los pesos específicos de los residuos sólidos varían con la **localización** geográfica, la **estación** del año y el **tiempo** de almacenamiento.

• Humedad de los RSU

Es la relación en masa (peso) entre el agua y el sólido.

Depende fuertemente del clima (de 10% a 50%).

Los residuos orgánicos son mas húmedos.

$$\text{humedad: } w = \frac{M_w}{M_s}$$

• Peso específico y humedad de los RSU

Fasset et al. (1994):

Jessberger (1996):

RSU sin compactar

$$\gamma = 0,3\text{kN/m}^3$$

RSU fuertemente compactados

$$\gamma = 18\text{kN/m}^3$$

RSU mal compactados

$$\gamma = 3 - 9\text{kN/m}^3$$

RSU medianamente compactados

$$\gamma = 5 - 8\text{kN/m}^3$$

RSU bien compactados

$$\gamma = 9 - 15\text{kN/m}^3$$

Datos típicos de Pesos Específicos y Contenidos de Humedad para residuos domésticos, comerciales, industriales y agrícolas. Tchobanoglous et al (1994).

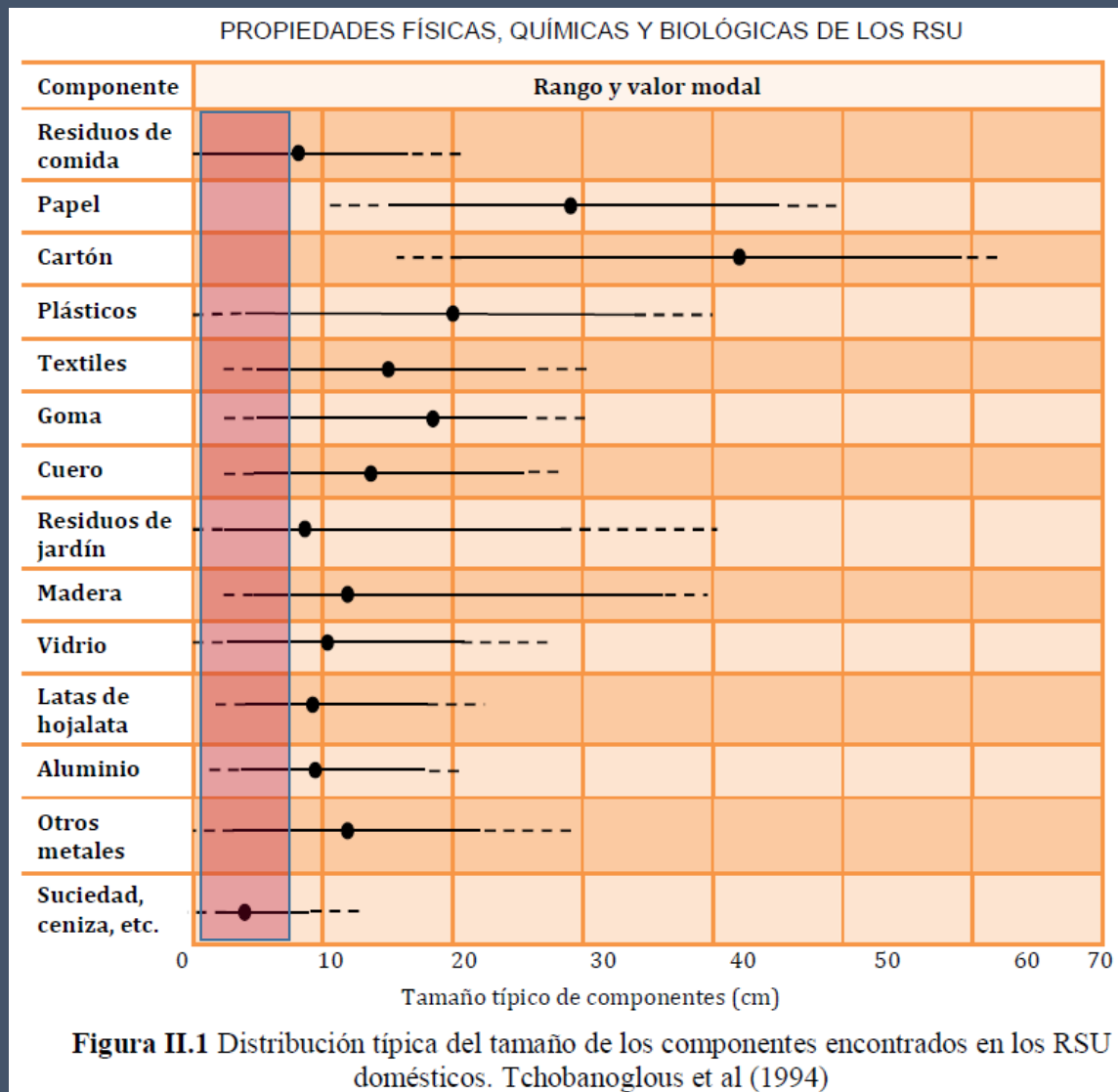
Tipos de residuos	Peso específico γ (kg/m ³)		Contenido de Humedad w (%)	
	Rango	Típico	Rango	Típico
Urbanos				
En camión compactador	178-451	297	15-40	20
En vertedero				
Medianamente compactados	362-498	451	15-40	25
Bien compactados	590-742	600	15-40	25

Datos típicos de Pesos Específicos y Contenidos de Humedad para residuos domésticos, comerciales, industriales y agrícolas. Tchobanoglous et al (1994).

Tipos de residuos	Peso específico γ (kg/m ³)		Contenido de Humedad w (%)	
	Rango	Típico	Rango	Típico
Domésticos no compactados				
Residuos de comida (mezclados)	131-481	291	50-80	70
Papel	42-131	89	4-10	6
Cartón	42-80	50	4-8	5
Plásticos	42-131	65	1-4	2
Textiles	42-101	65	6-15	10
Goma	101-202	131	1-4	2
Cuero	101-261	160	8-12	10
Residuos de jardín	59-225	101	30-80	60
Madera	131-320	237	15-40	20
Vidrio	160-481	196	1-4	2
Latas de hojalata	50-160	89	2-4	3
Aluminio	65-240	160	2-4	2
Otros metales	131-1.151	320	2-4	3
Suciedad, cenizas, etc.	320-1.000	481	6-12	8
Cenizas	650-831	745	6-12	6
Basuras	89-181	131	5-20	15
Residuos de jardín domésticos				
Hojas sueltas y secas	30-148	59	20-40	30
Hierba verde suelta y húmeda	208-297	237	40-80	60
Hierba verde húmeda y compactada	593-831	593	50-90	80
Residuos de jardín triturados	267-356	297	20-70	50
Residuos de jardín compostados	267-386	326	40-60	50

• Granulometría de los RSU

Tamaños correspondientes al material suelo, menor a 75 mm



• Permeabilidad de los RSU

- La permeabilidad o conductividad hidráulica de los residuos compactados es una propiedad física importante que gobierna en gran parte el movimiento de los líquidos y gases dentro del relleno sanitario.
- Los ensayos comúnmente usados para medir permeabilidad in situ son: lisímetros, ensayos de pérdida de agua en pozos y permeámetros de carga variable.
- Manasero et al (1997) sugiere como primera aproximación un valor de permeabilidad $k = 10^{-5}$ m/seg.
- Knochenmus et al (1998) observan que el coeficiente de permeabilidad de los RSU está entre 10^{-5} m/seg a 10^{-6} m/seg, similar a arenas con contenido de finos.
- La permeabilidad depende de la forma de deposición, grado de compactación inicial, la presión de sobrecarga y la edad de los residuos.

• Permeabilidad de los RSU

- La permeabilidad o conductividad hidráulica de los residuos compactados es una propiedad física importante que gobierna en gran parte el movimiento de los líquidos y gases dentro del relleno sanitario.
- Los ensayos comúnmente usados para medir permeabilidad in situ son: lisímetros, ensayos de pérdida de agua en pozos y permeámetros de carga variable.
- Manasero et al (1997) sugiere como primera aproximación un valor de permeabilidad $k = 10^{-5}$ m/seg.
- Knochenmus et al (1998) observan que el coeficiente de permeabilidad de los RSU está entre 10^{-5} m/seg a 10^{-6} m/seg, similar a arenas con contenido de finos.
- La permeabilidad depende de la forma de deposición, grado de compactación inicial, la presión de sobrecarga y la edad de los residuos.

• Temperatura de los RSU

- La medición de la temperatura en la masa de RSU es importante para la evolución de los procesos de degradación la generación de gas metano.
- La temperatura es influenciada principalmente por el grado y tipo de actividad microbiana y la temperatura ambiente para capas superficiales de RSU.
- El valor de la temperatura puede ser medido con termómetros digitales.
- Rees (1980) registró valores de hasta 43°C de temperatura en profundidad en el relleno de Aveley, California — EEUU.
- En el vertedero de Muribeca, Recife — Brasil, se han medido valores de temperatura en profundidad, encontrando en la capa más superficial una temperatura de 35°C, 63°C en la mitad de la profundidad y 50°C en la profundidad de 30m.