



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

Kawsaypacha 2016

# **La electrificación como opción de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero para cumplimiento de compromisos asumidos por el Perú**

**Fernando Jiménez**

**Jefe del Servicio Análisis Energético y Ambiental PUCP  
Coordinador del equipo i+d Movilidad y Transporte PUCP**

**13 de octubre del 2016**



LA DISCUSION EN 1900 -1920:

¡El combustible a utilizar Será Diesel,  
electricidad o vapor en el futuro!

- Referencia: Chris Verweijen



# MOVILIDAD SOSTENIBLE

- Definiciones, debate.





# MOVILIDAD



- Referencia: Shareway 2030



# SOSTENIBILIDAD

- Definiciones, debate.





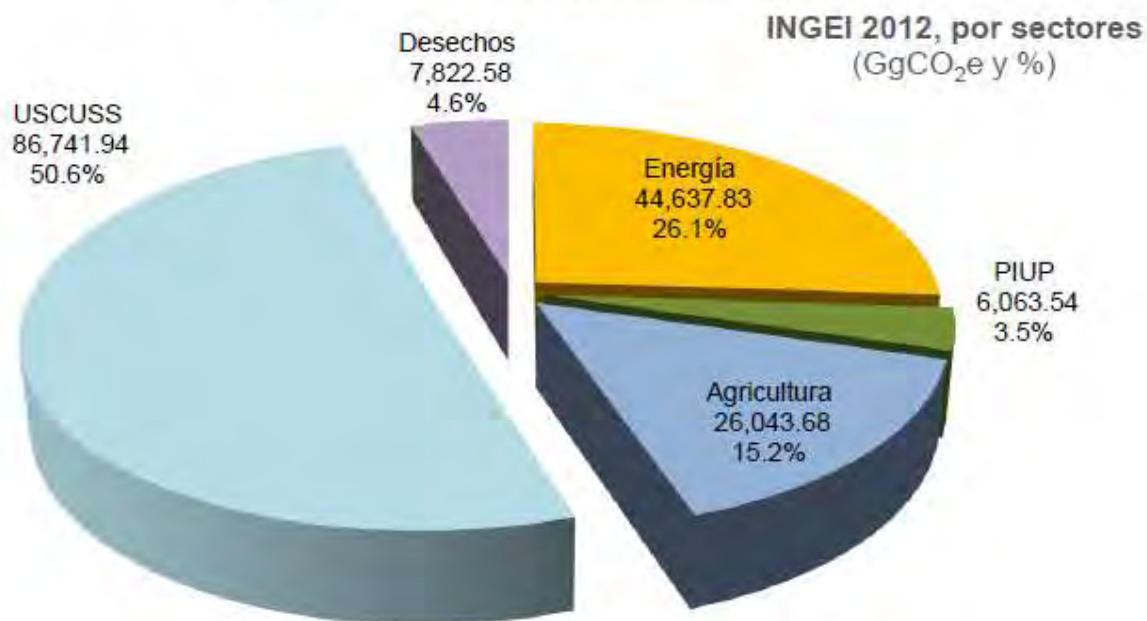
# Qué es lo importante de la *sostenibilidad*?

- Gases de efecto invernadero
- Emisiones contaminantes
- Ruido
- Impacto visual
- Uso de sustancias tóxicas
- Ciclo de vida, re-uso, re-manufactura...



# Inventario GEI Nacional 2012

Gráfica 1: Emisiones de GEI por sectores – INGEI 2012



Fuente: Actualización del inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero al año 2012

# Un vistazo a las emisiones peruanas en el año 2012

En el Perú, las emisiones se deben principalmente al cambio de uso del suelo en los bosques. Debajo se resaltan las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero en los cinco sectores del Inventario Nacional.



**Cambio de biomasa forestal y otros stocks leñosos**  
 Representa el mayor potencial de mitigación del Perú y su principal fuente de captura de GEI.  
**14 777 Gg CO<sub>2</sub>e**

**Conversión de bosques y praderas**  
 La transformación del suelo forestal para usos agrícolas genera deforestación, la principal fuente de emisiones.  
**79 772 Gg CO<sub>2</sub>e**

**Otros**  
**-7 808 Gg CO<sub>2</sub>e**

**Aguas residuales**  
 Las aguas residuales domésticas aportan tres veces más emisiones que los industriales.  
**1 243 Gg CO<sub>2</sub>e**

**Residuos sólidos**  
 Comprende emisiones de metano a consecuencia de la descomposición de la materia orgánica.  
**6 005 Gg CO<sub>2</sub>e**

**Otros**  
**574 Gg CO<sub>2</sub>e**

**Productos minerales**  
 Transformación de minerales no metálicos en cemento, cal, asfalto, vidrio y otros.  
**4 518 Gg CO<sub>2</sub>e**

**Producción de metal**  
 Involucra la producción de hierro, acero y plomo.  
**1 534 Gg CO<sub>2</sub>e**

**Otros**  
**11 Gg CO<sub>2</sub>e**

**Transporte**  
 Incluye todos los medios de transporte terrestre, marítimo, aéreo, fluvial y ferroviario.  
**17 847 Gg CO<sub>2</sub>e**

**Industrias de energía**  
 Originadas por la quema de gas, carbón y diesel para generar electricidad.  
**11 881 Gg CO<sub>2</sub>e**

**Otros**  
**14 910 Gg CO<sub>2</sub>e**

**Fermentación entérica**  
 Relacionada principalmente con la digestión del ganado vacuno.  
**10 735 Gg CO<sub>2</sub>e**

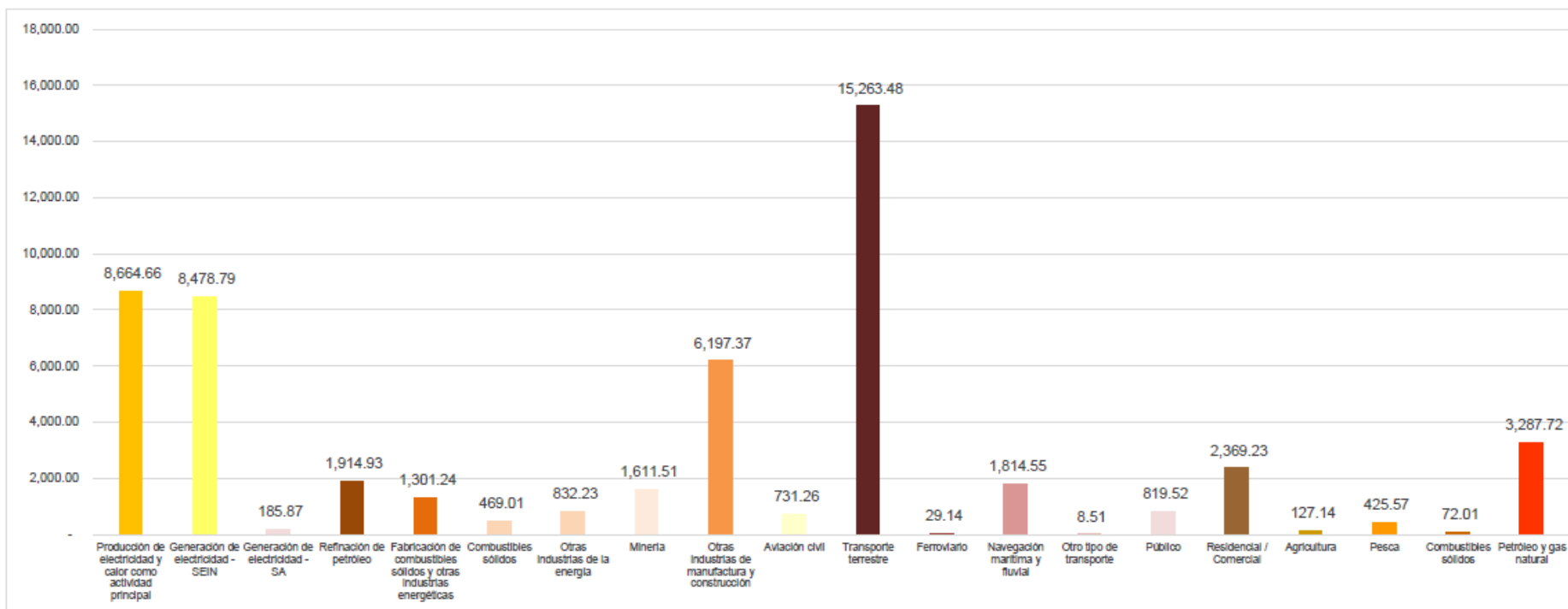
**Suelos agrícolas**  
 Relacionado a las emisiones de N<sub>2</sub>O por el uso de fertilizantes.  
**12 196 Gg CO<sub>2</sub>e**

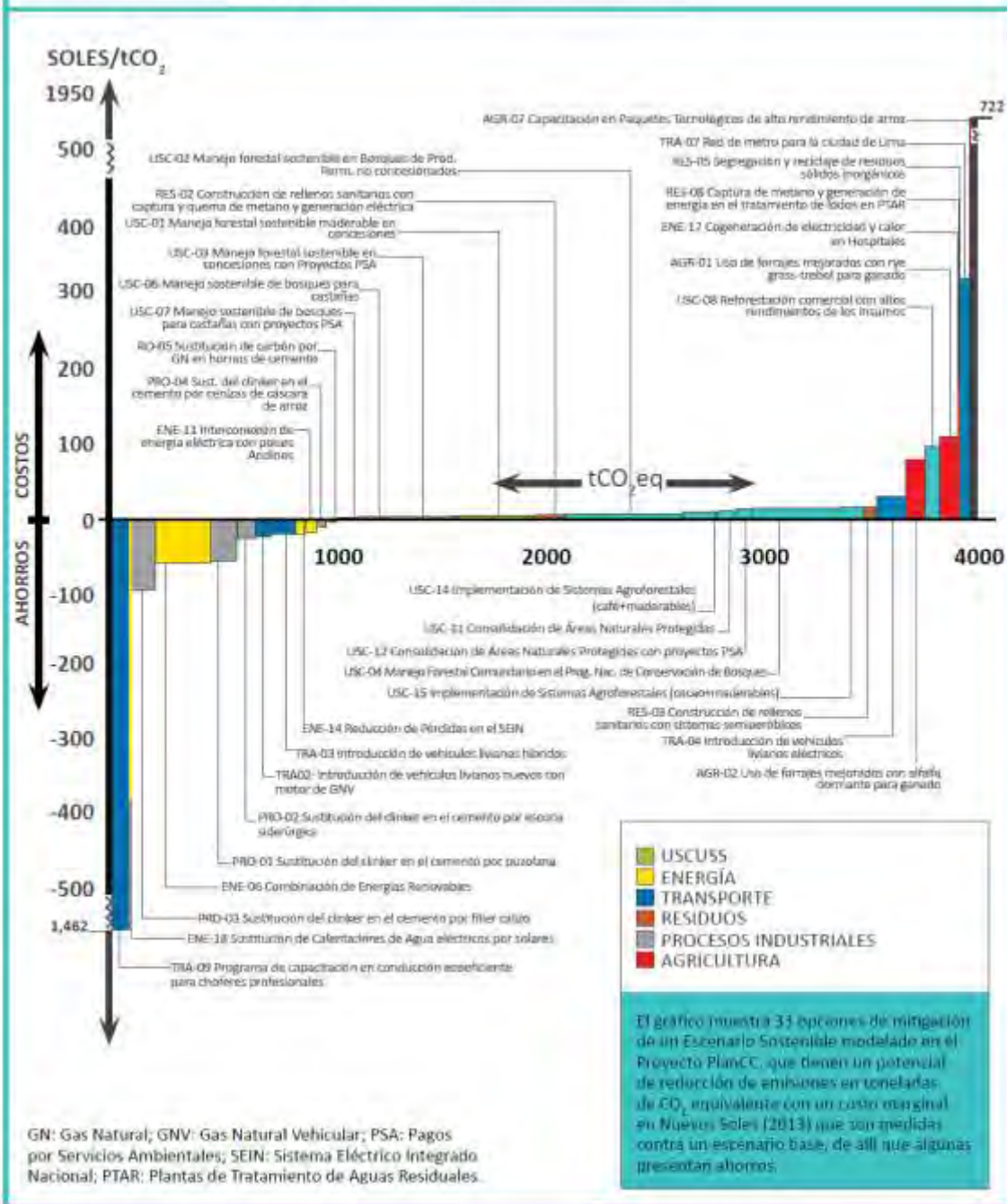
**Otros**  
**3 113 Gg CO<sub>2</sub>e**

**Fuentes:**  
 MINAM (CCEIS), Inventario Nacional de GEI  
**Nota:**  
 1 Gg (gramo) equivale a 1000 toneladas.

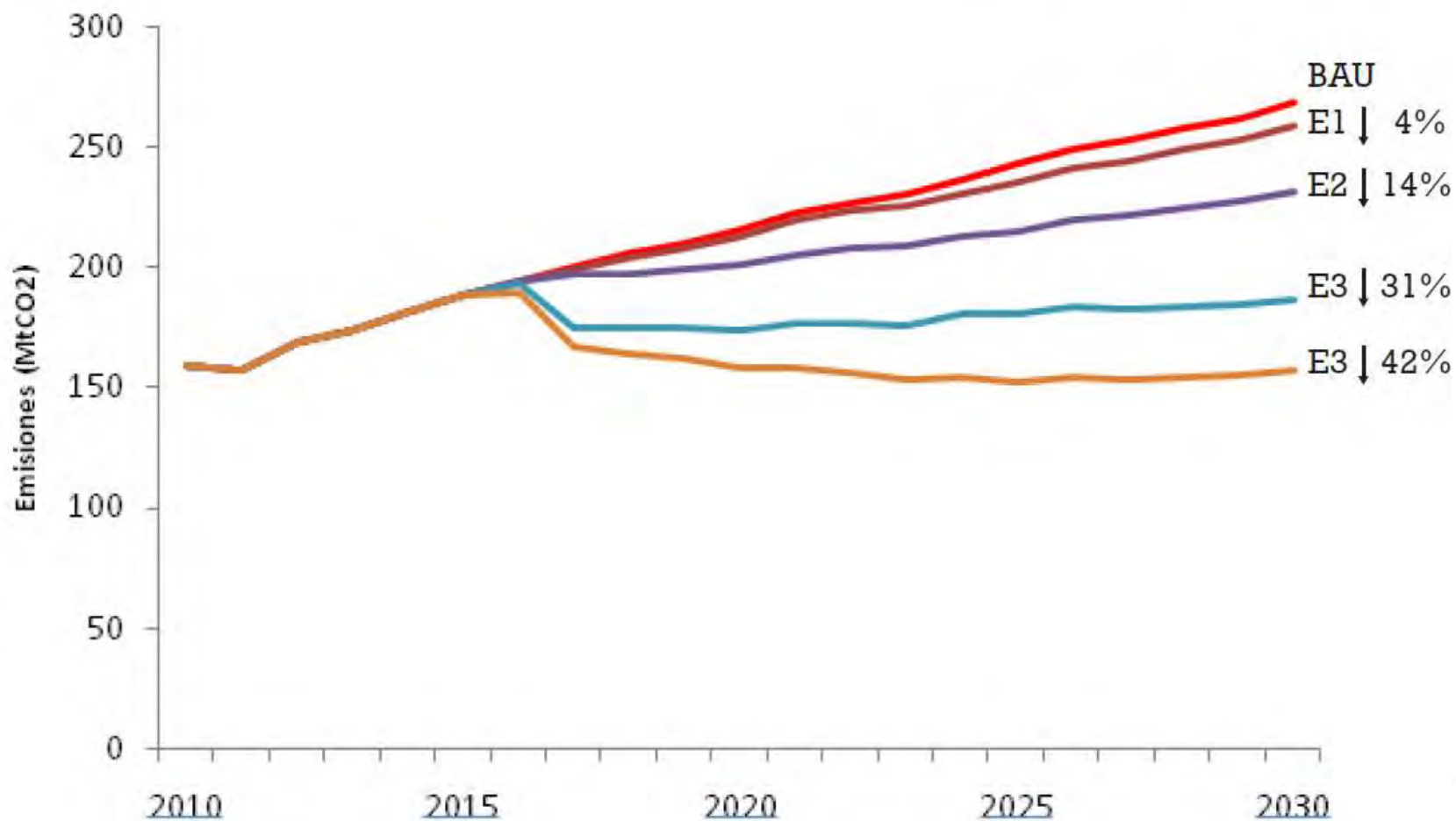


Gráfica 2: Emisiones GEI – sector Energía 2012, principales fuentes





## ESCENARIOS DE MITIGACIÓN DEL PERÚ AL 2030



Fuente: Secretaría Técnica de la Comisión Multisectorial de la iNDC – RS N° 129-2015-PCM

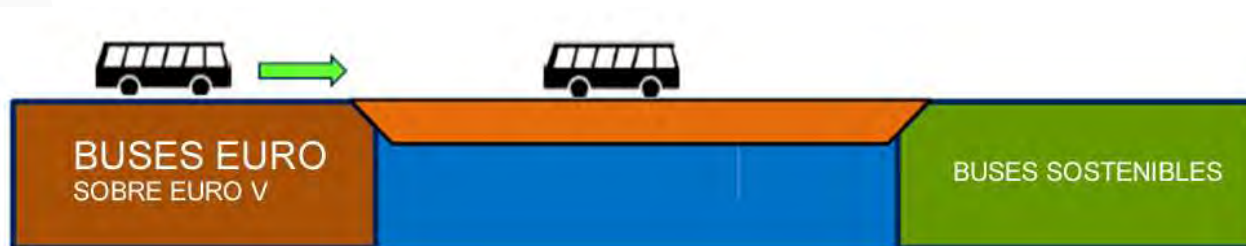


# FUTURIBLES DE TECNOLOGIA DE VEHICULOS PARA TRANSPORTE PUBLICO

- Reto actual:



- Ambición:





## Clasificación del nivel de ambición (Movares):

- Categoría 1: Seguir igual – pero más sostenible
- Categoría 2: En algún punto intermedio
- Categoría 3: Apuesta por lo verde
- Categoría 4: Verde paso a paso

cada uno de estas es un futuro



## Categoría 1: Seguir igual – pero más sostenible



### BUSES A GNV

- Combustible GNV
- Emisiones de CO mas bajas que el EURO VI
- Costo de operación mas alto que el Diesel



### BUSES A BIOGAS

- Emisiones de CO2 neutral
- Interés en combinar Buses híbridos con biogás.



### BIO DIESEL

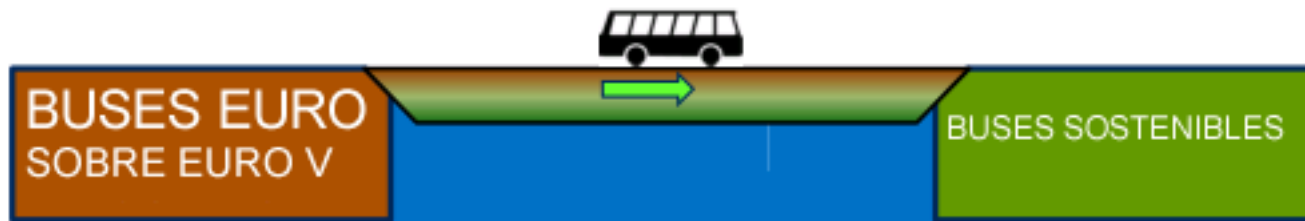
- El efecto depende del mix de combustible (%)

### GAS LIQUIDO (GTL)

- EURO VI mejor que el Diesel EURO VI, igual de ruidoso que el Bus Diesel convencional



## Categoría 2: En algún punto intermedio

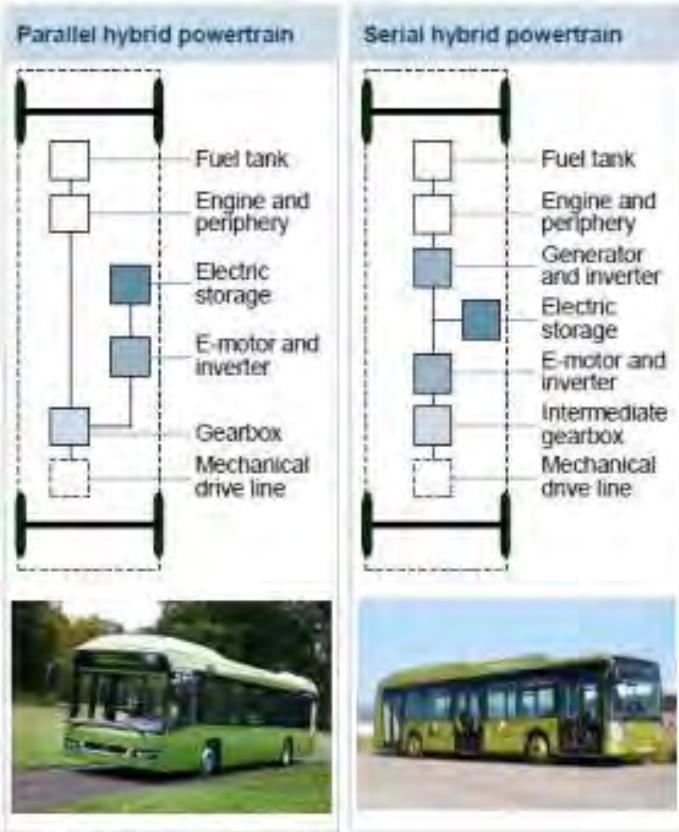


- Escoger una solución intermedia
- Mas sustentable y confiable que el EURO VI
- Mas sustentable que la primera categoría
- Diversas formas de buses híbridos



## BUS HIBRIDO

- Buses con motores a Diesel y eléctricos, generando energía por desplazamiento y guardándola como energía química.
- Buses de 2 clases: En paralelo y en serie. En serie para distancias cortas y tráfico de ciudad, en paralelo funciona mejor para otras partes de la ciudad y diversas regiones.



Source: hydrogen bus rapport EU

## EFFECTOS

- Ahorro promedio en combustible 15-30%
- Costo del vehículo mayor
- Emisiones de CO comparables con buses estándar
- Tecnología probada para el servicio de manufactura. Volvo vende vehículos híbridos





### Bus Híbrido Volvo 7700

Sistema aire acondicionado



**Longitud:** 12m.

**Altura:** 3.20m.

**Ancho:** 2.55m.

**Acceso:** Piso Bajo

**Distancia entre ejes:** 5.95m.

**Peso Bruto vehicular** 18 000 kg.

**Suspensión:** Suspensión neumática electrónica.

**Dirección:** Dirección de alimentación eléctrica.

**Compresor de aire:** Compresor eléctrico rotatorio.

**Frenos:** Frenos de discos EBS.

**Numero de puertas:** 3 en costado derecho

**Altura de entradas:** 25, 27, 27cm.

**Capacidad de pasajeros:** 95 personas.

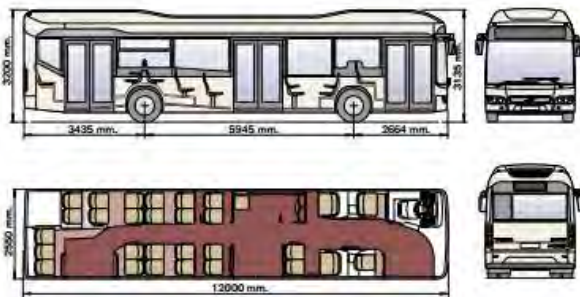
**Sistema híbrido:** Híbrido en paralelo Volvo I-SAM.

**Motor diésel:** Volvo D5E.

**Potencia/par motor Diesel:** 210hp/800Nm.

**Potencia/par motor eléctrico** 160hp/800Nm.

**Caja de Cambio automático** Volvo I-Shift.

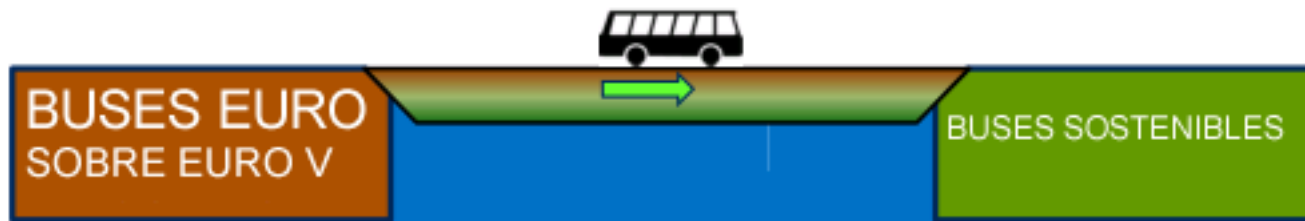


### Beneficios:

- Reducción del consumo de combustible hasta en 30%
- Reducción de las emisiones entre un 40 y un 50%
- Batería de celdas Ion litio de temperatura controlada.
- Conversión de 600v/24v 7.5kw
- Motor diésel Volvo D5E de 4 cilindros y 5 litros con bajo consumo de combustible y 210hp, instalado verticalmente. Volvo 7700



## Categoría 3: Apuesta por lo verde



Apuesta por vehículos sostenibles y silenciosos incluso si aun las posibilidades no se han desarrollado completamente.

Opciones a escoger:

Buses a batería, trolebús

Buses con celdas de hidrogeno





## **BUSES ELECTRICOS (BATERIAS)/ CARGADOS EN GARAJES.**



- No generan emisiones y bajos niveles de sonido
- La mayoría proviene de China
- Autonomía baja: 200-250km para recorrido.
- Baterías muy pesadas que ocupan el espacio destinado a pasajeros
- Costo de adquisición elevado, costo de operación bajo.

## **TROLEBUS**

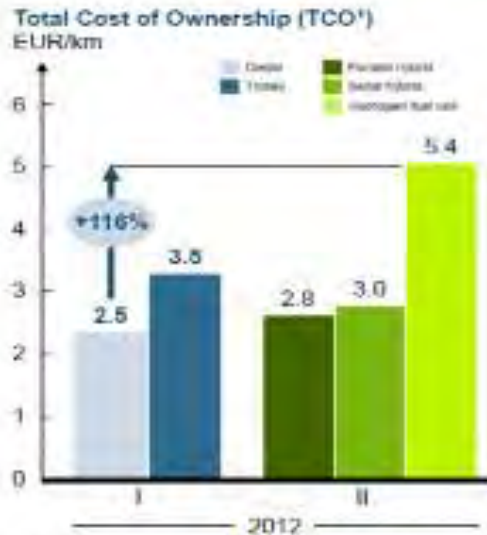


- No generan emisiones y bajos niveles de sonido
- Diversos fabricantes
- Costo de alambrado eléctrico alto (construcción y mantenimiento).
- Obstrucción visual
- Costo de adquisición elevado, tiempo de vida del bus alto.



## BUSES A HIDROGENO

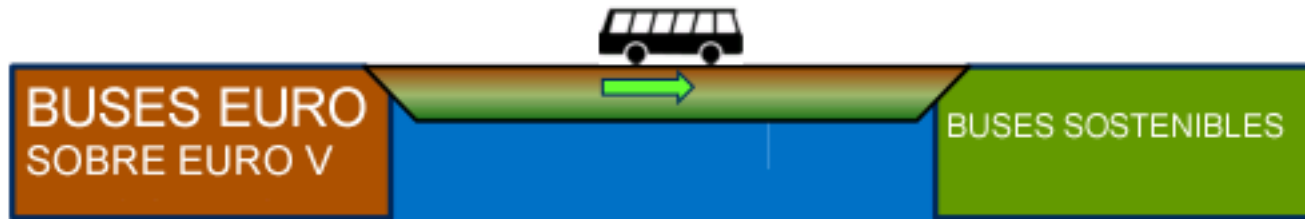
- No generan emisiones y bajos niveles de sonido
- Costo de adquisición elevado
- Emisiones de CO bastante alto
- Muy interesante en temas de transición al hidrogeno como matriz energética renovable



## PUNTOS DE ATENCION

- H2 no existe en la naturaleza, la producción genera una eficiencia negativa, pero es una combinación interesante en cuanto a electricidad sustentable.
- Difícil de comprimir
- Disuelve metales, se requiere de tanques especiales
- Altamente inflamable
- MUY INTERESANTE PARA EL FUTURO

## Categoría 4: Verde paso a paso



- Es una alternativa donde las baterías se recargan durante las horas de trabajo del bus.
- Buses con dispositivos de interconexión en redes eléctricas locales.

### OPCIONES A ESCOGER:

- Bus eléctrico (baterías) o buses híbridos con opción de recarga
- Buses con opción de interconexión en red eléctrica local.





## OPCIONES A ESCOGER:

- Buses híbridos, trolebús a batería.
- Función de recarga: durante el servicio publico
- Ventajas: reduce el numero de baterías

## FORMAS DE RECARGA

- Conductivo: con un contacto arreglado al detenerse o en el movimiento.
- No conductivo: Inductivo al detenerse o el movimiento sobre una vía inductiva.
- A través de paneles solares: usado en Europa
- Interesados: Volvo en su planeamiento estratégico





PONTIFICIA  
UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DEL PERÚ

## CARGA CONDUCTIVA

Con tranvía

- Línea 90 en Roma (batería en el centro sobre las vías)





## CARGA CONDUCTIVA

Carga al detenerse con 2 cables con polos conductivos, buses con una especie de pantógrafo.

- Gotemburgo (2013) & Stockholm (2014)



## VENTAJAS:

- No hay pérdidas por transferencia
- Construcción simple



## DESVENTAJAS

- Altos costos





## CARGA INDUCTIVA (con batería de bus híbrido)

- Al detenerse la energía es transferida por inducción al vehículo.
- Alternativa: viaje completa con sistema de inducción.

### VENTAJAS

- No hay cables en el aire
- Ejecución fácil

### DESVENTAJA

#### Costoso

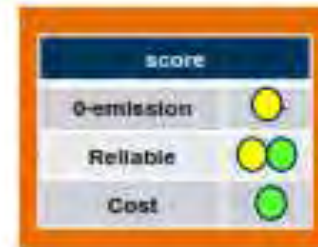
- 5-15% de pérdidas en comparación con el sistema conductivo de carga.
- Requiere tiempo para el cambio de la infraestructura urbana.





## Categoría 1

- Bus Euro VI
- CNG / Biogas
- Nuevos combustibles
- Buses de menor peso bruto



## Categoría 2

- Híbridos con sistema paralelo
- Híbridos con sistemas en serie



## Categoría 3

- Buses eléctricos (con baterías)
- Con vías – trolébus
- Buses híbridos de hidrogeno



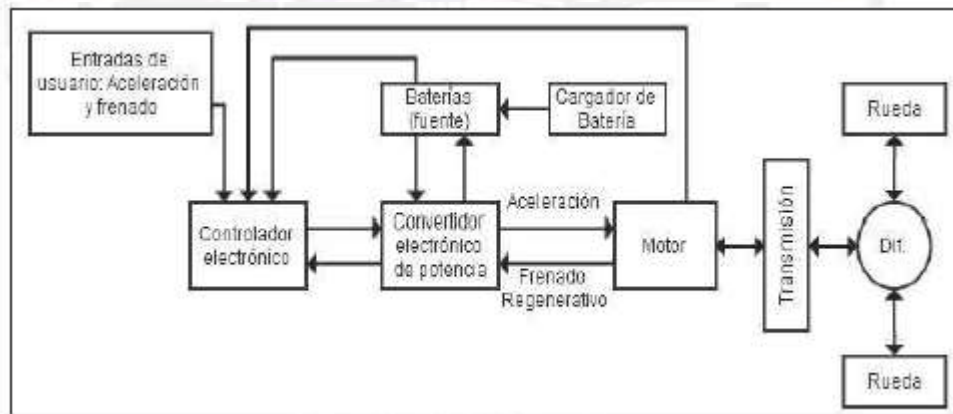
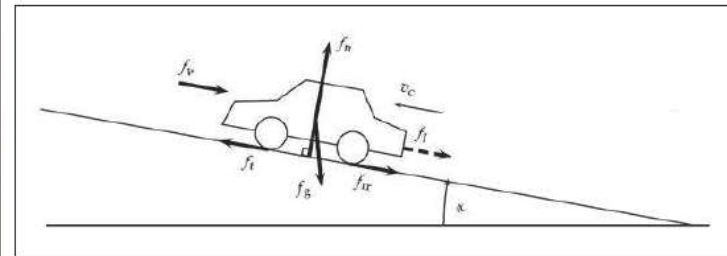
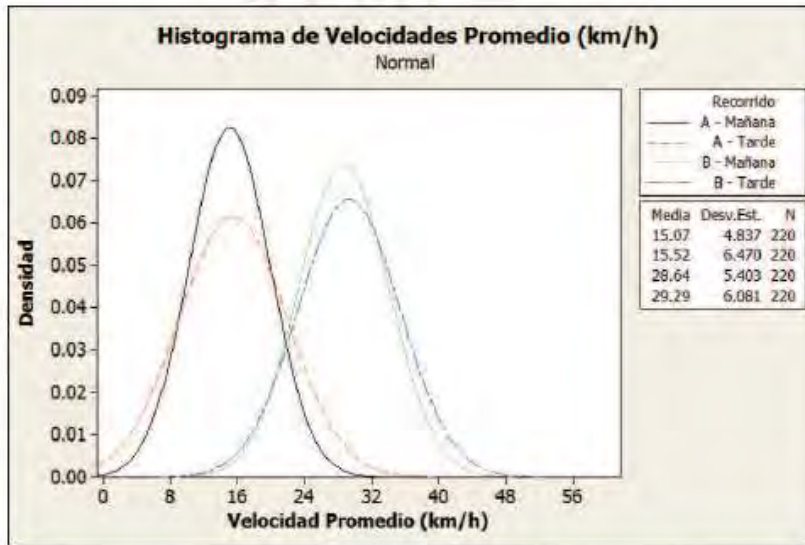
## Categoría 4

- Bus híbrido enchufable / buses con baterías y forma de recarga inductiva y conductiva.



# Caso Lima: Vehículo de uso privado

Definir el tipo de vehículo eléctrico adecuado para los requerimientos de un usuario privado típico de Lima Metropolitana y determinar las principales características de los sistemas técnicos que debe utilizar el mismo.

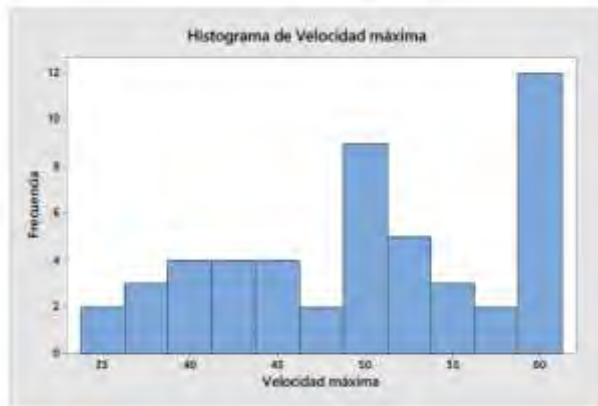
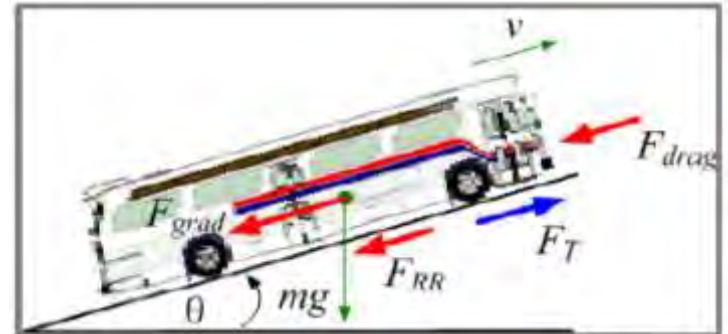


Prestaciones	
Velocidad máxima [km/h]	120
Emisiones CO2 [gr/km]	0
Autonomía, ciclo de conducción L.M [km]	58.56
Autonomía, ciclo de conducción L.M [horas]	3.9
Motor Eléctrico	
Potencia máxima [kW / HP]	75 / 100
RPM para potencia máxima	3000 - 8000
Torque máximo [N.m]	240
RPM para torque máximo	0 - 3000
Voltaje de operación (VDC)	240 - 420
Batería	
Tipo	Iones de Litio
Capacidad [kW-h]	23
Disponibile [kW-h]	18.4
Voltaje Nominal [V]	393
Tiempo de carga, 100% capacidad	
Potencia [kW] / Tiempo de carga [horas]	3 / 7.67
Tiempo de carga, 80% capacidad	
Potencia [kW] / Tiempo de carga [horas]	3 / 6.13
Transmisión	
Sistema de tracción	Posterior
Caja de cambios	1 sola velocidad

Ref: V ZUÑIGA

un vehículo eléctrico se recupera la inversión inicial luego de 66 000 kilómetros de recorrido, considerando que el recorrido anual es de 16 500 km, un usuario típico recuperaría la inversión luego de 4 años; para un usuario que recorre más de 16 500 km anuales, es posible recuperar la inversión inicial en menos tiempo. Cabe resaltar que luego de 66 000 km de recorrido, se presenta un ahorro anual de 7 595 Nuevos Soles.

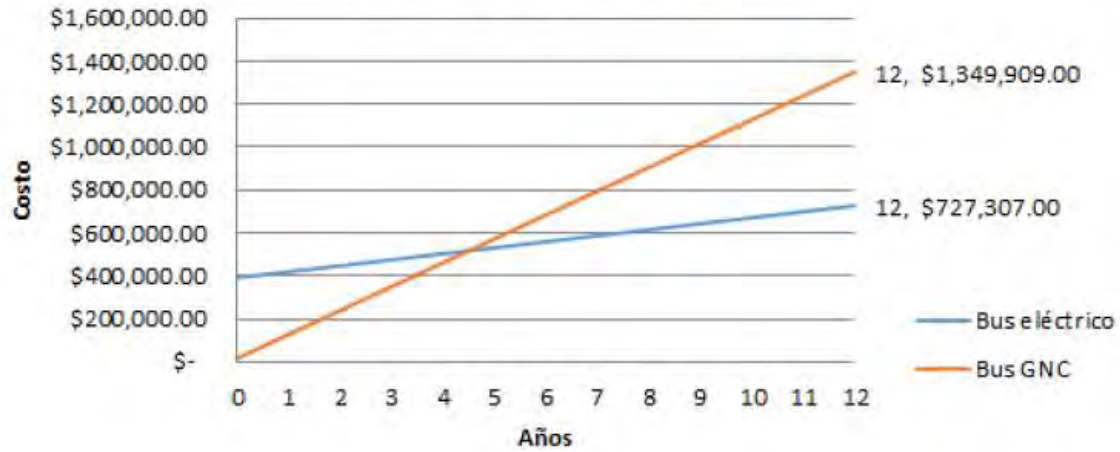
# Caso Lima: transporte público



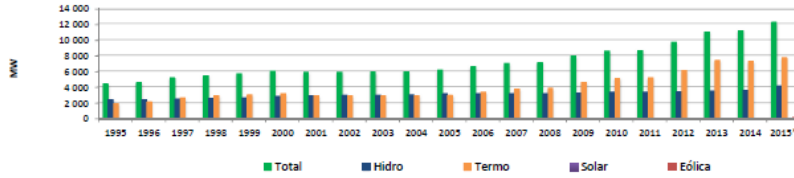
Descripción	Unidad	Powerphase HD 950T (x2)
<b>Características del vehículo</b>		
Peso neto del vehículo	kg	12684
Peso bruto del vehículo	kg	30450
Velocidad máxima	km/hora	60
Aceleración inicial superficie plana	m/s <sup>2</sup>	1.03
Máxima pendiente	%	16%
Neumáticos	-	275/70R22.5
<b>Sistema de propulsión</b>		
Motores	-	Powerphase HD 950T (x2)
Potencia máxima	kW	290 (2x145)
Potencia continua	kW	200 (2x100)
Máximo torque	N-m	1900 (2x950)
Torque continuo	N-m	800 (2x400)
Velocidad máxima	rpm	4500
Máxima eficiencia	-	94.0%
Peso	kg	170
Densidad de potencia	kW/kg	2.7
Voltaje de operación	V	500-880
Rango de torque máximo	rpm	0-1000
Rango de potencia máxima	rpm	1000-4500
Posición de los motores	-	Eje posterior
<b>Sistema de transmisión</b>		
Cantidad de reductores de velocidad	-	2
Relación de transmisión	-	Fija 13.1
Sentido de rotación	-	Horario y antihorario
Torque máximo	N-m	950
Velocidad máxima	rpm	4500
<b>Sistema de almacenamiento de energía</b>		
Tipo de batería	-	Iones de Litio Fosfato de Hierro
Capacidad de las baterías	kW-h	130
Tiempo de carga de las baterías	hora	4
Sistema de carga	-	Recambio de baterías
Cantidad de baterías extra para cambio	-	2
Voltaje de las baterías	V	435
Peso de las baterías	kg	1428
Configuración	-	34SP3



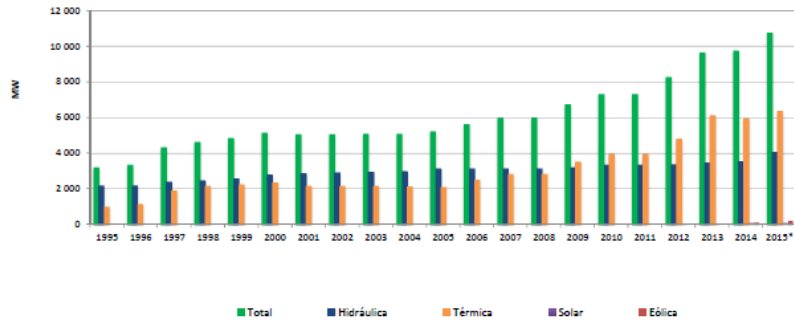
### Punto de equilibrio



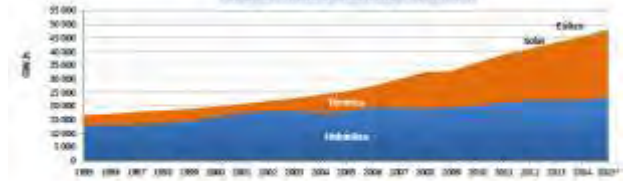
EVOLUCIÓN DE POTENCIA INSTALADA 1 995 - 2 015



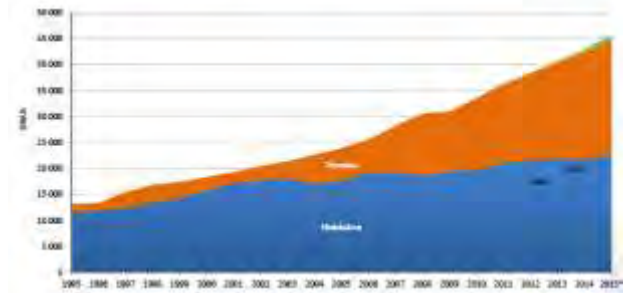
POTENCIA INSTALADA - GENERADORAS PARA MERCADO ELÉCTRICO 1 995 - 2 015



EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA - NACIONAL 1 995 - 2 015

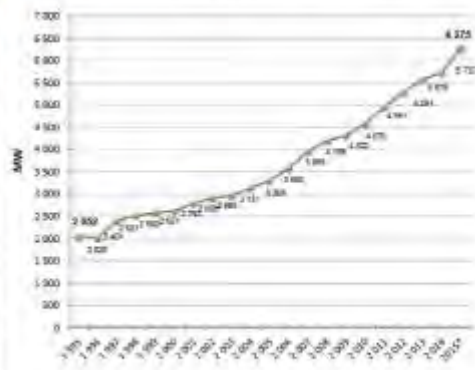


PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA EL MERCADO ELÉCTRICO 1 995 - 2 015



Año	Máxima Demanda (MW)
1 995	2 292
1 996	2 225
1 997	2 401
1 998	2 521
1 999	2 589
2 000	2 621
2 001	2 792
2 002	2 908
2 003	2 983
2 004	3 131
2 005	3 305
2 006	3 580
2 007	3 980
2 008	4 139
2 009	4 322
2 010	4 570
2 011	4 981
2 012	5 237
2 013	5 578
2 014	5 737
2015*	6 275

EVOLUCIÓN DE LA MÁXIMA DEMANDA SEIN - COES 1 995 - 2 015



Fuente: COES

(\* Información anual preliminar. No se incluye exportación al Ecuador (57 MW). Incremento se debió principalmente al ingreso en operación de unidades nuevas (Las Lunetas, Aspillallas, Casa Verde).



# Conclusiones

1. Aporte de la ingeniería a la sostenibilidad
  - Gases de efecto invernadero
  - Emisiones contaminantes
  - Ruido
  - Impacto visual
  - Uso de sustancias tóxicas
  - Ciclo de vida, re-uso, re-manufactura...
  
2. Escenarios Futuros
  - Prospectiva
  - Futuribles
  - Stakeholders

### 3. Niveles de ambición

- Categoría 1: Seguir igual – pero más sostenible
- Categoría 2: En algún punto intermedio
- Categoría 3: Apuesta por lo verde
- Categoría 4: Verde paso a paso

### 4. Tecnologías asociadas a cada escenario:

- Bus Euro VI
- CNG / Biogás
- Nuevos combustibles
- Buses de menor peso bruto

- Buses eléctricos (con baterías)
- Con vías – trolebús
- Buses híbridos de hidrogeno

- Híbridos con sistema paralelo
- Híbridos con sistemas en serie

- Bus híbrido enchufable / buses con baterías y forma de recarga inductiva y conductiva.

5. Lima debe identificar su futuro (escenario deseable, posible y construible) y en base a esto desarrollar o adaptar tecnología acorde.
6. La electrificación del transporte es una posibilidad actual real.

Prof. Fernando O. Jiménez  
ojimene@pucp.edu.pe