

# COSTOS DE MEJORA TECNOLÓGICA

## Requerimientos tecnológicos para cumplir estándar de emisiones

| Power class           | System component | Tier 1/Stage I                                                                    | Tier 2/Stage II                                                                | Tier 3/Stage IIIA                                                          | Tier 4i/Stage IIIB                           | Tier 4f/Stage IV                      | Stage V <sup>a</sup> |
|-----------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| < 19 kW <sup>b</sup>  | FIE              | IDI or MDI; injection timing delay; upgrades to mechanical fuel injection systems |                                                                                |                                                                            |                                              |                                       |                      |
|                       | AH               | NA                                                                                |                                                                                |                                                                            |                                              |                                       |                      |
|                       | EGR              | None                                                                              |                                                                                |                                                                            |                                              |                                       |                      |
|                       | ATD              | None                                                                              |                                                                                |                                                                            |                                              |                                       |                      |
| 19-37 kW <sup>c</sup> | FIE              | IDI or MDI; injection timing delay; upgrades to mechanical fuel injection systems |                                                                                |                                                                            |                                              | IDI or CR                             | EDI: CR              |
|                       | AH               | NA                                                                                |                                                                                |                                                                            |                                              | NA or TC                              |                      |
|                       | EGR              | None                                                                              |                                                                                |                                                                            |                                              | iEGR, cEGR                            | cEGR                 |
|                       | ATD              | None                                                                              |                                                                                |                                                                            |                                              | DOC+(DPF)                             | DOC+DPF              |
| 37-56 kW              | FIE              | IDI or MDI; injection timing delay; upgrades to mechanical fuel injection systems |                                                                                | IDI or MDI; fuel injection system upgrades with limited application of ECU |                                              | EDI, CR                               |                      |
|                       | AH               | NA, limited use of TC (FG)                                                        |                                                                                | TC (FG or WG), limited NA                                                  |                                              | TC (FG or WG)                         |                      |
|                       | EGR              | None                                                                              |                                                                                | Increased EGR application                                                  |                                              | iEGR, cEGR                            | cEGR                 |
|                       | ATD              | None                                                                              |                                                                                |                                                                            |                                              | DOC+(DPF)                             | DOC+DPF              |
| 56-75 kW              | FIE              | MDI; injection timing delay; upgrades to mechanical fuel injection systems        |                                                                                | MDI; increasing use of EDI                                                 | EDI: CR                                      |                                       |                      |
|                       | AH               | Increasing application of TC (FG, WG)                                             |                                                                                | TC (FG, WG)                                                                |                                              |                                       |                      |
|                       | EGR              | None                                                                              |                                                                                | Moderate iEGR, cEGR application                                            |                                              |                                       |                      |
|                       | ATD              | None                                                                              |                                                                                |                                                                            | DOC+(DPF)                                    | (DOC)+SCR / DOC+DPF+SCR               | DOC+DPF+SCR          |
| 75-130 kW             | FIE              | MDI; injection timing delay, upgrade to mechanical fuel injection systems         | MDI, increasing use of EDI: electronic EUI or CR (P <sub>inj</sub> = 1200 bar) | EDI: EUI or CR (P <sub>inj</sub> = 1600 bar); limited MDI                  | EDI: CR (P <sub>inj</sub> = 2000 bar)        |                                       |                      |
|                       | AH               | TC (FG, WG)                                                                       |                                                                                |                                                                            | TC (WG, VGT)                                 |                                       |                      |
|                       | EGR              | None                                                                              |                                                                                | cEGR used in ~50% of engine families                                       |                                              |                                       |                      |
|                       | ATD              | None                                                                              |                                                                                |                                                                            | DOC+(DPF) / SCR                              | (DOC)+SCR / DOC+DPF+SCR               | DOC+DPF+SCR          |
| 130-560 kW            | FIE              | MDI, limited EDI; injection timing delay,                                         | Increasing use of EDI: EUI or CR (P <sub>inj</sub> = 1200 bar)                 | EDI: EUI or CR (P <sub>inj</sub> = 1600 bar);                              | EDI: CR or EUI (P <sub>inj</sub> = 2000 bar) | EDI: CR (P <sub>inj</sub> = 2000 bar) |                      |
|                       | AH               | TC (FG, WG)                                                                       |                                                                                | TC (FG, WG, VGT)                                                           | TC (WG, VGT, 2stT)                           |                                       |                      |
|                       | EGR              | None                                                                              |                                                                                | cEGR in ~50% engine families                                               |                                              |                                       |                      |
|                       | ATD              | None                                                                              |                                                                                |                                                                            | DOC + DPF / SCR                              | (DOC)+SCR / DOC+DPF+SCR               | DOC+DPF+SCR          |

ICCT (2018)

# COSTOS DE MEJORA TECNOLÓGICA

| Estándar inicial | Estándar final | Tipo costo       | 0 A 19    | >19 A 37  | >37 A 56    | >56 A 75    | >75 A 130    | >130 A 225   | >225 A 450   | >450 A 560   |
|------------------|----------------|------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Tier 0           | Tier 1         | Costos inversión | \$ 36.00  | \$ 36.00  | \$ 0.00     | \$ 0.00     | \$ 0.00      | \$ 0.00      | \$ 0.00      | \$ 0.00      |
| Tier 0           | Tier 1         | Costos O&M       | \$ 448.00 | \$ 448.00 | \$ 0.00     | \$ 0.00     | \$ 0.00      | \$ 0.00      | \$ 0.00      | \$ 0.00      |
| Tier 1           | Tier 2         | Costos inversión | \$ 178.00 | \$ 178.00 | \$ 361.00   | \$ 361.00   | \$ 1,207.00  | \$ 1,257.00  | \$ 1,257.00  | \$ 2,092.00  |
| Tier 1           | Tier 2         | Costos O&M       | \$ 448.00 | \$ 448.00 | \$ 395.00   | \$ 395.00   | -\$ 679.00   | -\$ 1,212.00 | -\$ 1,212.00 | -\$ 8,220.00 |
| Tier 2           | Tier 3         | Costos inversión | \$ 0.00   | \$ 0.00   | \$ 511.00   | \$ 511.00   | \$ 1,159.00  | \$ 1,753.00  | \$ 1,753.00  | \$ 2,104.00  |
| Tier 2           | Tier 3         | Costos O&M       | \$ 0.00   | \$ 0.00   | \$ 808.00   | \$ 808.00   | -\$ 2,955.00 | -\$ 3,779.00 | -\$ 3,779.00 | -\$ 8,654.00 |
| Tier 3           | Tier 4I        | Costos inversión | \$ 457.00 | \$ 508.00 | \$ 3,160.00 | \$ 3,160.00 | \$ 3,810.00  | \$ 4,259.00  | \$ 5,696.00  | \$ 10,544.00 |
| Tier 3           | Tier 4I        | Costos O&M       | \$ 0.00   | \$ 0.00   | \$ 0.00     | \$ 0.00     | \$ 1,430.00  | \$ 1,978.00  | \$ 1,879.00  | \$ 7,527.00  |

# COSTOS DE MEJORA TECNOLÓGICA

Si una máquina tiene una vida útil aproximada de 7 años y su costo de inversión de avance tecnológico es de 3.500 USD y de O&M es 1.500 USD, estos valores se anualizan durante los 7 años de la siguiente manera:

$$Valor\ anual = (3500\ USD + 1500\ USD) * \frac{tasa * (1 + tasa)^7}{(1 + tasa)^7 - 1}$$

**Si la tasa es del 10%, los 5000 USD se convierten  
en siete (7) pagos de 1027 USD**

**Si la tasa es del 1%, los 5000 USD se convierten en  
siete (7) pagos de 743 USD**

# COSTOS DE MEJORA TECNOLÓGICA

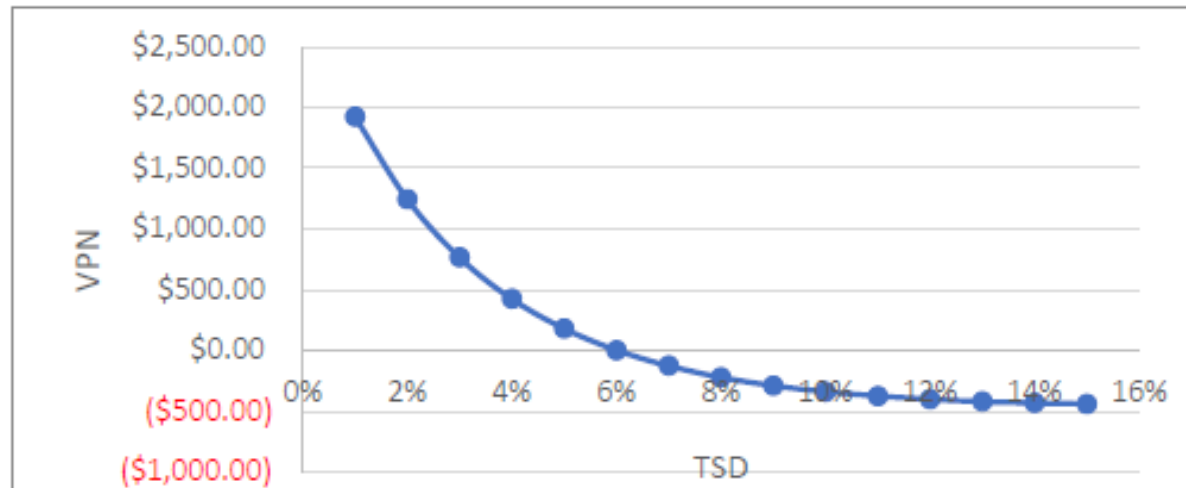
El reemplazo de un vehículo de combustión interna por uno eléctrico tiene la misma lógica: la diferencia de precios se anualiza considerando la vida útil.

$$Valor\ anual = (40,000\ USD - 20,000\ USD) * \frac{tasa * (1 + tasa)^{20}}{(1 + tasa)^{20} - 1}$$

**Vehículo BEV**      **Vehículo ICE**

**Si la tasa es del 10%, el incremento anual en el  
costo será de 2350 USD**

# TASA SOCIAL DE DESCUENTO

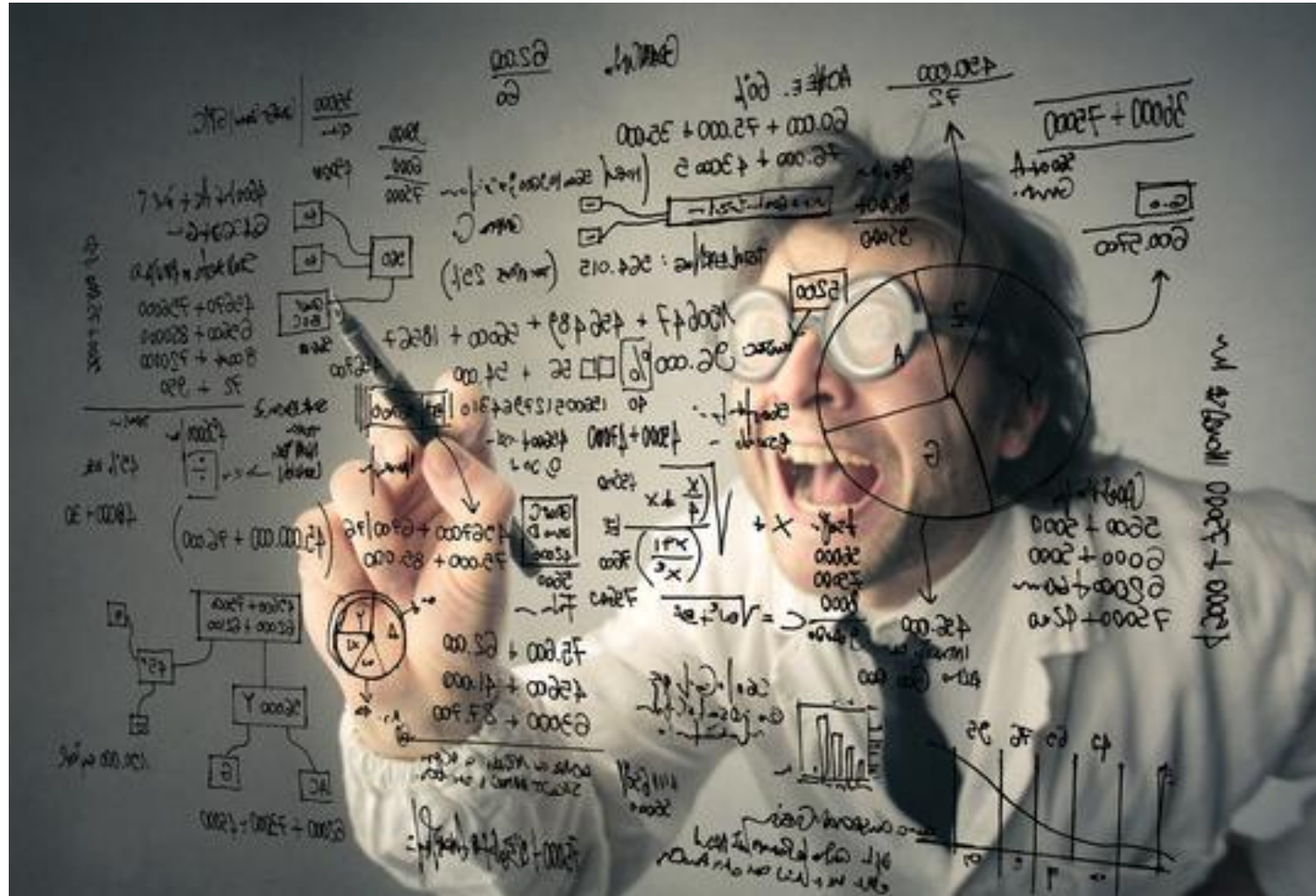


# TASA SOCIAL DE DESCUENTO

| País     | 0 a 10 años | 11 a 19 años | 20 años | Fuente                                                                      |
|----------|-------------|--------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Chile    | 6%          | 6%           | 5,05%   | (Ministerio de Desarrollo Social y Familia de Chile, 2020), (Edwards, 2016) |
| Colombia | 5%          | 3%           | 3%      | Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (2017)                          |
| Perú     | 8%          | 8%           | 4,4%    | (Ministerio de Economía y Finanzas Perú, 2018) (López, 2008)                |
| México   | 3%          | 3%           | 3%      | (Harvard T.H. Chan School of Public Health, 2018)                           |

Fuente: Elaboración propia a partir de guía HEBASH+

# EJERCICIO EN HEMAQ+



<https://www.gwstoolgroup.com/calculating-before-plate-internal-screw-thread-and-tap-h-limits/>



Programa Clima y Aire limpio  
en Ciudades de América Latina

# ¡Gracias por su atención!

*CALAC+ es un programa de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la  
Cooperación - COSUDE ejecutado por Swisscontact*



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Agencia Suiza para el Desarrollo  
y la Cooperación COSUDE



[programacalac.com](http://programacalac.com)



[@CALACplus](https://www.facebook.com/CALACplus)



[@Calacplus](https://twitter.com/Calacplus)

# EJERCICIO 4

a. Estime la Relación Beneficio Costo (RBC) por la implementación de una norma de emisiones en la Ciudad de México para los siguientes casos:

| Parámetro                          | Caso 1                                                 | Caso 2        |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| Factores de emisiones              | EPA                                                    |               |
| Retiro maquinaria                  | Sin Retiro                                             |               |
| Línea Base                         | Tier 1: 2007<br>Tier 2: 2012                           |               |
| Norma                              | Tier 4I: 2025<br>Tier 4F: 2027 (<19 kW) & 2030 (>19kW) | Tier 4F: 2025 |
| Sectores                           | Todos                                                  |               |
| Relación emisiones concentraciones | Intake fraction (Apte et al. 2012)                     |               |
| Fuente Función Riesgo Relativo     | RR GBD 2019                                            |               |
| Tipo de mortalidad                 | Causas naturales                                       |               |
| Valor de la vida estadística       | 1 MUSD (Elasticidad 1.2)                               |               |
| Precio social del CO2              | 20 USD                                                 |               |
| Tasa de descuento                  | 3%                                                     |               |
| Año inicial                        | 2022                                                   |               |
| Año final                          | 2035                                                   |               |
| Año para cálculo valor presente    | 2024                                                   |               |

# EJERCICIO 4

Para los siguientes puntos tome los parámetros del caso 1:

- b. Estime la diferencia en RBC respecto al literal (a) por cambiar el VSL de 1 MUSD a 500 mil USD.
- c. Estime la diferencia en RBC respecto al literal (a) por cambiar el costo social del carbono de 20 USD a 10 USD.
- d. Estime la diferencia en RBC respecto al literal (a) por cambiar la tasa social de descuento de 3% a 9%.
- e. Estime la diferencia en RBC respecto al literal (a) asumiendo que hay un incumplimiento de la norma por parte de la maquinaria de construcción de un 30%

# INTRODUCCIÓN A LA MAQUINARIA MÓVIL NO DE CARRETERA

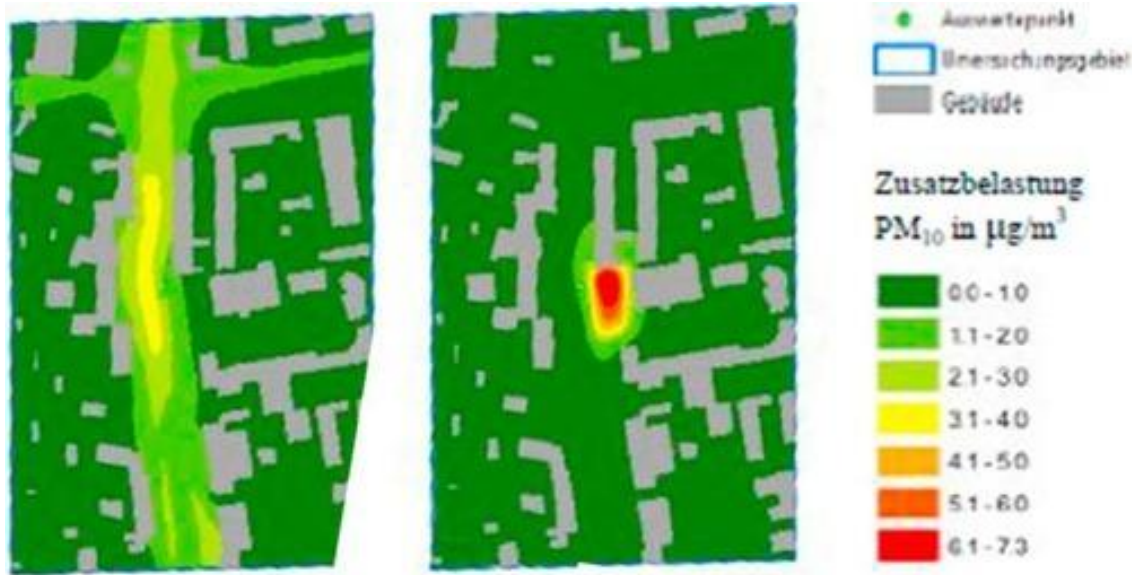
Una máquina móvil no destinada al transporte de pasajeros o de mercancías por carretera

90% diésel

International Agency  
Research on Cancer



# INTRODUCCIÓN A LA MAQUINARIA MÓVIL NO DE CARRETERA



# INTRODUCCIÓN A LA MAQUINARIA MÓVIL NO DE CARRETERA



Niveladora



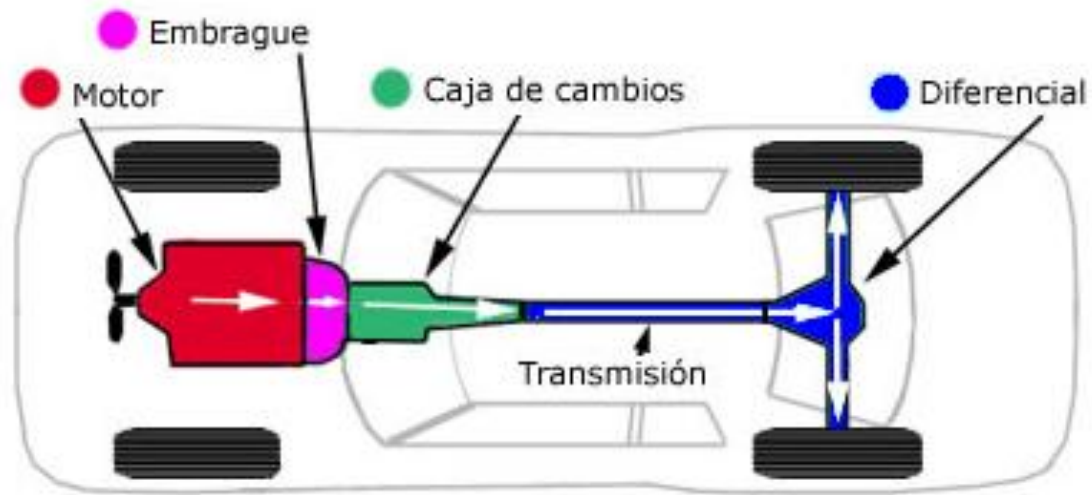
Cosechadora



Barredora

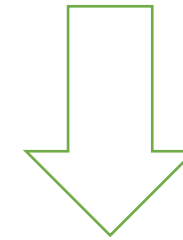
**¡Hacer un  
trabajo!**

# INTRODUCCIÓN A LA MAQUINARIA MÓVIL NO DE CARRETERA



<https://www.ro-des.com/mecanica/caja-de-cambios/>

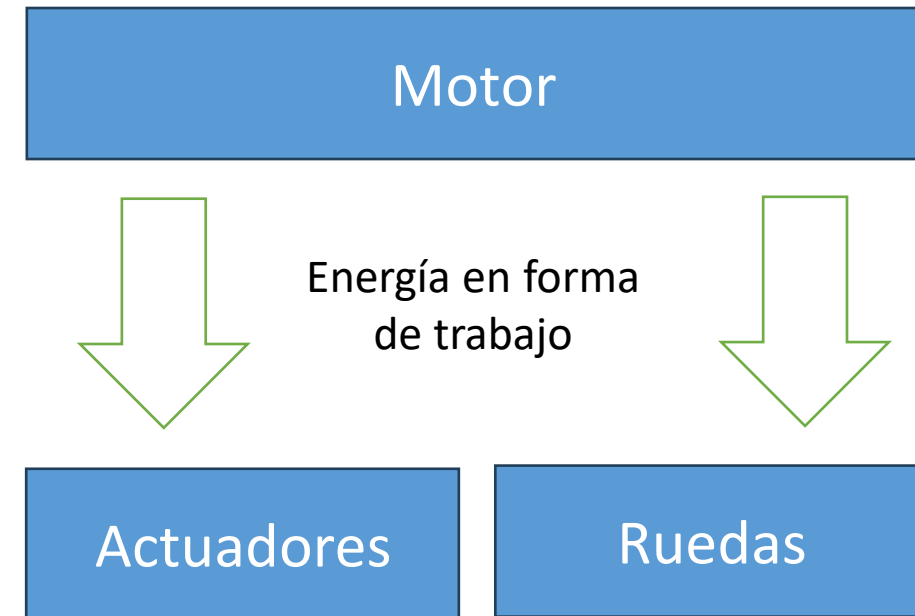
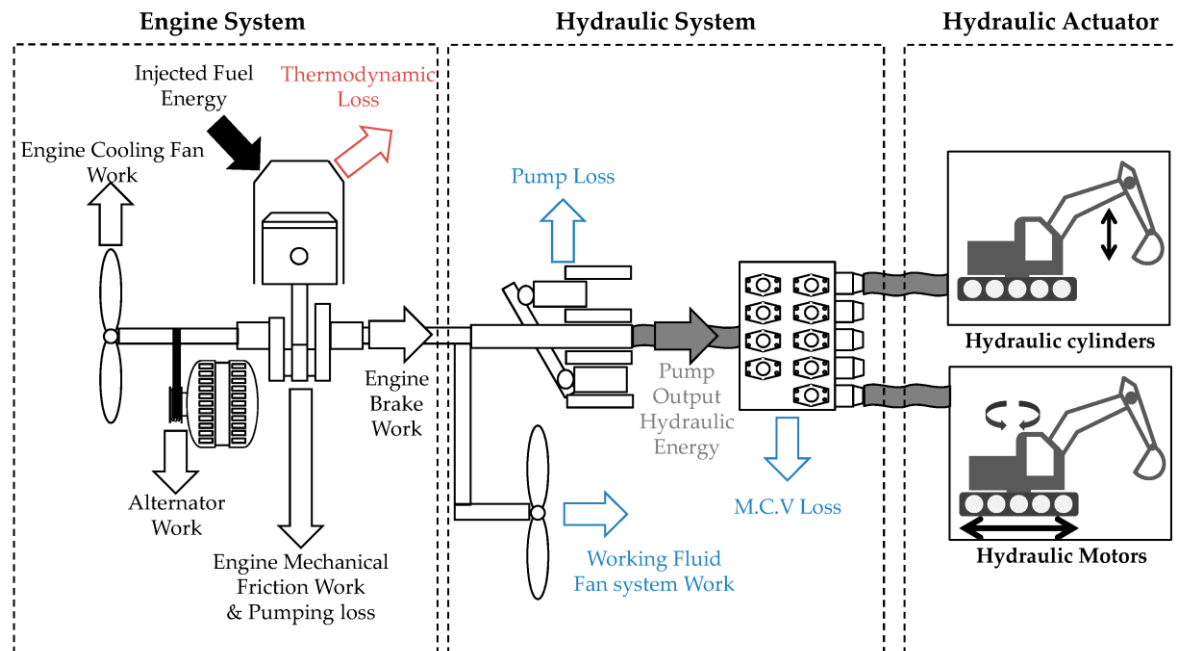
Motor



Energía en forma de trabajo

Ruedas

# INTRODUCCIÓN A LA MAQUINARIA MÓVIL NO DE CARRETERA



<https://www.mdpi.com/1996-1073/13/4/951>

# INTRODUCCIÓN A LA MAQUINARIA MÓVIL NO DE CARRETERA

**Video de sistema hidráulico de una excavadora**

<https://www.facebook.com/watch/?v=299373451491554>

# INTRODUCCIÓN A LA MAQUINARIA MÓVIL NO DE CARRETERA

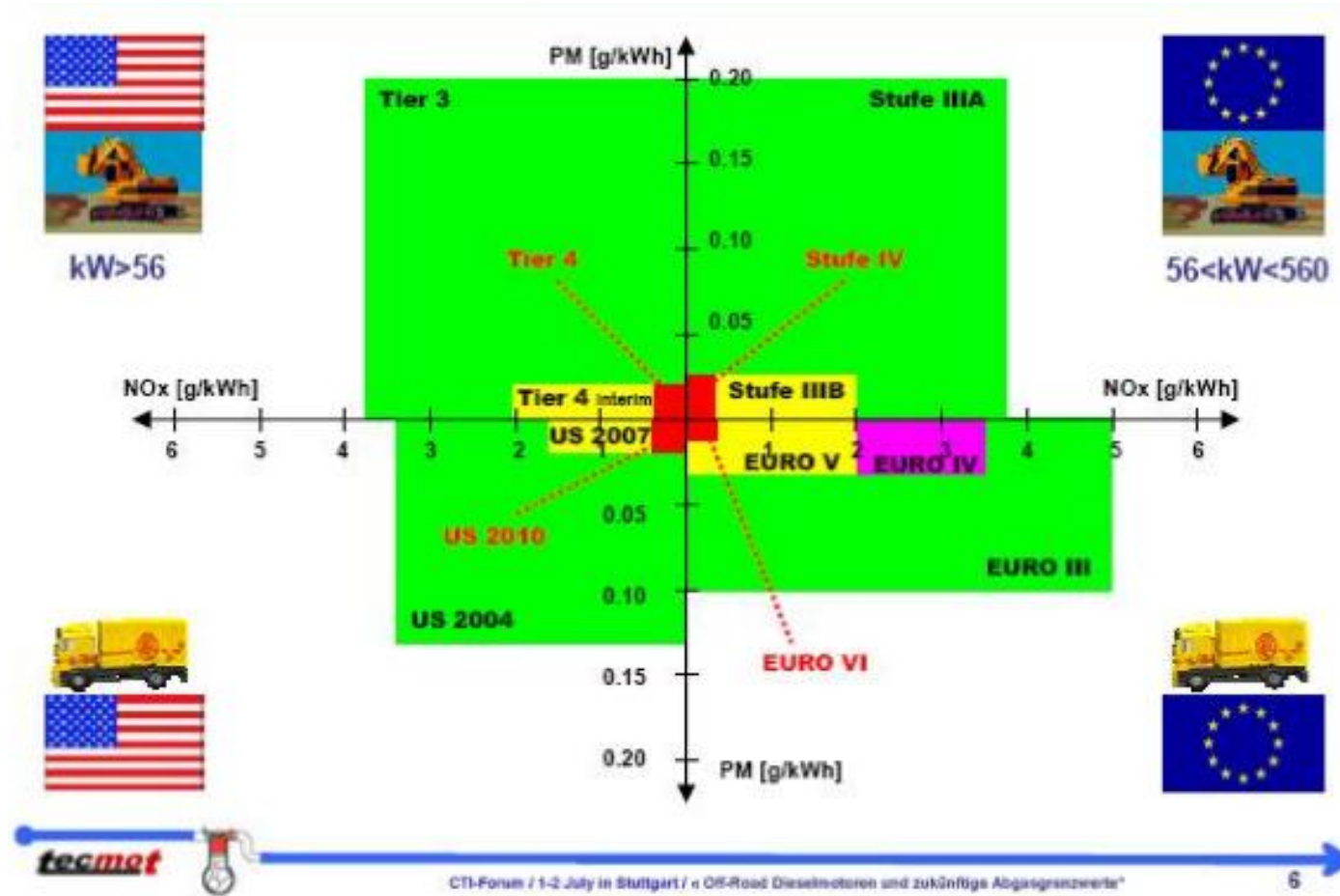
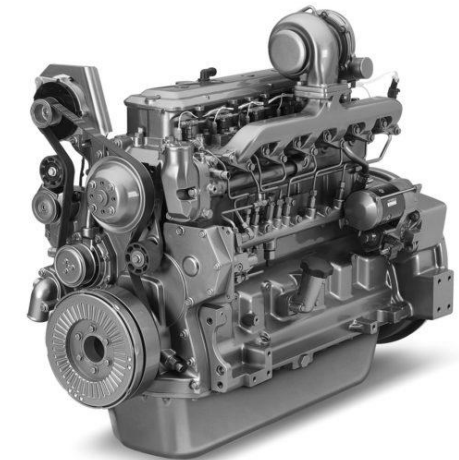


Imagen tomada de presentación por Andreas Mayer / VERT en la Conferencia Latinoamericana sobre emisión de nanopartículas en motores de combustión interna con especialistas internacionales en México

# INTRODUCCIÓN A LA MAQUINARIA MÓVIL NO DE CARRETERA



**Mismo tipo de motores**  
Usos de mismas soluciones  
tecnológicas



# METODOLOGÍA DE CÁLCULO

## Factor de deterioro

$$FD = \begin{cases} 1 + A * \text{Factor Edad} & \text{si Factor Edad} < 1 \\ 1 + A & \text{si Factor Edad} \geq 1 \end{cases}$$

$$\text{Factor Edad} = \frac{\text{Edad} * \text{Nivel de Actividad} * \text{Factor de Carga}}{\text{Vida útil}}$$

$$\text{Factor Edad} = \frac{(2024 - 2014) * 200 \text{ h} * 59\%}{4667 \text{ h}}$$

$$\text{Factor Edad} = \frac{1180 \text{ h}}{4667 \text{ h}} = 0,25$$

$$FD = 1 + 0,101 * 0.25 = 1,025$$

# CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES



Fuente: Apte et al (2012)