

# Toward Energy Savings in Campus Buildings under a Life Cycle Thinking Approach

Ricardo Abejón <sup>1,2</sup>, Jara Laso <sup>1</sup>, Marta Rodrigo <sup>1</sup>, Israel Ruiz-Salmón <sup>1</sup>, Mario Mañana <sup>3</sup>, María Margallo <sup>1</sup> and Rubén Aldaco <sup>1,\*</sup>

Table S1. Life cycle inventory of the Faculty of Science (Sciences).

Inputs	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Electricity (MJ/m <sup>2</sup> ·person)	3.93 × 10 <sup>-2</sup>	3.72 × 10 <sup>-2</sup>	3.96 × 10 <sup>-2</sup>	3.46 × 10 <sup>-2</sup>	3.66 × 10 <sup>-2</sup>	3.53 × 10 <sup>-2</sup>	3.40 × 10 <sup>-2</sup>	3.17 × 10 <sup>-2</sup>	3.36 × 10 <sup>-2</sup>	3.80 × 10 <sup>-2</sup>	3.67 × 10 <sup>-2</sup>	3.58 × 10 <sup>-2</sup>
Natural gas (kg/m <sup>2</sup> ·person)	1.08 × 10 <sup>-3</sup>	1.05 × 10 <sup>-3</sup>	1.29 × 10 <sup>-3</sup>	2.13 × 10 <sup>-4</sup>	1.27 × 10 <sup>-5</sup>	1.29 × 10 <sup>-5</sup>	1.21 × 10 <sup>-5</sup>	1.19 × 10 <sup>-5</sup>	9.84 × 10 <sup>-6</sup>	4.45 × 10 <sup>-5</sup>	3.35 × 10 <sup>-4</sup>	5.79 × 10 <sup>-4</sup>
Water (kg/m <sup>2</sup> ·person)	9.61 × 10 <sup>-3</sup>	1.98 × 10 <sup>-2</sup>	1.42 × 10 <sup>-2</sup>	1.29 × 10 <sup>-2</sup>	1.85 × 10 <sup>-2</sup>	1.94 × 10 <sup>-2</sup>	1.67 × 10 <sup>-2</sup>	1.24 × 10 <sup>-2</sup>	2.30 × 10 <sup>-2</sup>	1.75 × 10 <sup>-2</sup>	1.58 × 10 <sup>-2</sup>	1.82 × 10 <sup>-2</sup>
Paper (kg/m <sup>2</sup> ·person)	9.07 × 10 <sup>-6</sup>	1.49 × 10 <sup>-5</sup>	1.14 × 10 <sup>-5</sup>	1.51 × 10 <sup>-5</sup>	1.79 × 10 <sup>-5</sup>	9.14 × 10 <sup>-6</sup>	9.63 × 10 <sup>-6</sup>	7.38 × 10 <sup>-6</sup>	1.23 × 10 <sup>-5</sup>	1.28 × 10 <sup>-5</sup>	1.29 × 10 <sup>-5</sup>	1.03 × 10 <sup>-5</sup>
Outputs												
Wastewater (kg/m <sup>2</sup> ·person)	9.61 × 10 <sup>-3</sup>	1.98 × 10 <sup>-2</sup>	1.42 × 10 <sup>-2</sup>	1.29 × 10 <sup>-2</sup>	1.85 × 10 <sup>-2</sup>	1.94 × 10 <sup>-2</sup>	1.67 × 10 <sup>-2</sup>	1.24 × 10 <sup>-2</sup>	2.30 × 10 <sup>-2</sup>	1.75 × 10 <sup>-2</sup>	1.58 × 10 <sup>-2</sup>	1.82 × 10 <sup>-2</sup>
Waste paper (kg/m <sup>2</sup> ·person)	9.07 × 10 <sup>-6</sup>	1.49 × 10 <sup>-5</sup>	1.14 × 10 <sup>-5</sup>	1.51 × 10 <sup>-5</sup>	1.79 × 10 <sup>-5</sup>	9.14 × 10 <sup>-6</sup>	9.63 × 10 <sup>-6</sup>	7.38 × 10 <sup>-6</sup>	1.23 × 10 <sup>-5</sup>	1.28 × 10 <sup>-5</sup>	1.29 × 10 <sup>-5</sup>	1.03 × 10 <sup>-5</sup>

Table S2. Life cycle inventory of the Faculty of Law and Economics (Law).

Inputs	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Electricity (MJ/m <sup>2</sup> ·person)	2.98 × 10 <sup>-3</sup>	3.14 × 10 <sup>-3</sup>	3.38 × 10 <sup>-3</sup>	2.44 × 10 <sup>-3</sup>	2.71 × 10 <sup>-3</sup>	2.81 × 10 <sup>-3</sup>	2.24 × 10 <sup>-3</sup>	2.07 × 10 <sup>-3</sup>	2.35 × 10 <sup>-3</sup>	3.22 × 10 <sup>-3</sup>	3.20 × 10 <sup>-3</sup>	2.84 × 10 <sup>-3</sup>
Natural gas (kg/m <sup>2</sup> ·person)	2.54 × 10 <sup>-4</sup>	2.47 × 10 <sup>-4</sup>	3.03 × 10 <sup>-4</sup>	5.03 × 10 <sup>-5</sup>	3.00 × 10 <sup>-6</sup>	3.05 × 10 <sup>-6</sup>	2.85 × 10 <sup>-6</sup>	2.81 × 10 <sup>-6</sup>	2.32 × 10 <sup>-6</sup>	1.05 × 10 <sup>-5</sup>	7.90 × 10 <sup>-5</sup>	1.37 × 10 <sup>-4</sup>
Water (kg/m <sup>2</sup> ·person)	2.53 × 10 <sup>-3</sup>	6.13 × 10 <sup>-3</sup>	4.36 × 10 <sup>-3</sup>	4.50 × 10 <sup>-3</sup>	6.38 × 10 <sup>-3</sup>	4.52 × 10 <sup>-3</sup>	2.12 × 10 <sup>-3</sup>	1.21 × 10 <sup>-3</sup>	2.49 × 10 <sup>-3</sup>	2.83 × 10 <sup>-3</sup>	2.68 × 10 <sup>-3</sup>	3.14 × 10 <sup>-3</sup>

Paper (kg/m <sup>2</sup> ·person)	$3.09 \times 10^{-6}$	$5.07 \times 10^{-6}$	$3.88 \times 10^{-6}$	$5.15 \times 10^{-6}$	$6.08 \times 10^{-6}$	$3.11 \times 10^{-6}$	$3.28 \times 10^{-6}$	$2.51 \times 10^{-6}$	$4.19 \times 10^{-6}$	$4.36 \times 10^{-6}$	$4.40 \times 10^{-6}$	$3.49 \times 10^{-6}$
<b>Outputs</b>												
Wastewater (kg/m <sup>2</sup> ·person)	$2.53 \times 10^{-3}$	$6.13 \times 10^{-3}$	$4.36 \times 10^{-3}$	$4.50 \times 10^{-3}$	$6.38 \times 10^{-3}$	$4.52 \times 10^{-3}$	$2.12 \times 10^{-3}$	$1.21 \times 10^{-3}$	$2.49 \times 10^{-3}$	$2.83 \times 10^{-3}$	$2.68 \times 10^{-3}$	$3.14 \times 10^{-3}$
Waste paper (kg/m <sup>2</sup> ·person)	$3.09 \times 10^{-6}$	$5.07 \times 10^{-6}$	$3.88 \times 10^{-6}$	$5.15 \times 10^{-6}$	$6.08 \times 10^{-6}$	$3.11 \times 10^{-6}$	$3.28 \times 10^{-6}$	$2.51 \times 10^{-6}$	$4.19 \times 10^{-6}$	$4.36 \times 10^{-6}$	$4.40 \times 10^{-6}$	$3.49 \times 10^{-6}$

Table S3. Life cycle inventory of the School of Industrial Engineering (Industrial).

Inputs	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Electricity (MJ/m <sup>2</sup> ·person)	$7.41 \times 10^{-3}$	$7.89 \times 10^{-3}$	$8.58 \times 10^{-3}$	$7.41 \times 10^{-3}$	$7.89 \times 10^{-3}$	$7.41 \times 10^{-3}$	$6.56 \times 10^{-3}$	$5.00 \times 10^{-3}$	$7.19 \times 10^{-3}$	$8.28 \times 10^{-3}$	$8.51 \times 10^{-3}$	$7.87 \times 10^{-3}$
Natural gas (kg/m <sup>2</sup> ·person)	$4.30 \times 10^{-4}$	$4.19 \times 10^{-4}$	$5.14 \times 10^{-4}$	$8.52 \times 10^{-5}$	$5.08 \times 10^{-6}$	$5.16 \times 10^{-6}$	$4.84 \times 10^{-6}$	$4.77 \times 10^{-6}$	$3.93 \times 10^{-6}$	$1.78 \times 10^{-5}$	$1.34 \times 10^{-4}$	$2.32 \times 10^{-4}$
Water (kg/m <sup>2</sup> ·person)	$4.92 \times 10^{-3}$	$8.00 \times 10^{-3}$	$1.32 \times 10^{-2}$	$1.02 \times 10^{-2}$	$1.34 \times 10^{-2}$	$1.00 \times 10^{-2}$	$7.45 \times 10^{-3}$	$3.70 \times 10^{-3}$	$4.38 \times 10^{-3}$	$6.74 \times 10^{-3}$	$9.52 \times 10^{-3}$	$1.26 \times 10^{-2}$
Paper (kg/m <sup>2</sup> ·person)	$6.36 \times 10^{-6}$	$1.04 \times 10^{-5}$	$7.98 \times 10^{-6}$	$1.06 \times 10^{-5}$	$1.25 \times 10^{-5}$	$6.41 \times 10^{-6}$	$6.75 \times 10^{-6}$	$5.17 \times 10^{-6}$	$8.62 \times 10^{-6}$	$8.97 \times 10^{-6}$	$9.07 \times 10^{-6}$	$7.19 \times 10^{-6}$
<b>Outputs</b>												
Wastewater (kg/m <sup>2</sup> ·person)	$4.92 \times 10^{-3}$	$8.00 \times 10^{-3}$	$1.32 \times 10^{-2}$	$1.02 \times 10^{-2}$	$1.34 \times 10^{-2}$	$1.00 \times 10^{-2}$	$7.45 \times 10^{-3}$	$3.70 \times 10^{-3}$	$4.38 \times 10^{-3}$	$6.74 \times 10^{-3}$	$9.52 \times 10^{-3}$	$1.26 \times 10^{-2}$
Waste paper (kg/m <sup>2</sup> ·person)	$6.36 \times 10^{-6}$	$1.04 \times 10^{-5}$	$7.98 \times 10^{-6}$	$1.06 \times 10^{-5}$	$1.25 \times 10^{-5}$	$6.41 \times 10^{-6}$	$6.75 \times 10^{-6}$	$5.17 \times 10^{-6}$	$8.62 \times 10^{-6}$	$8.97 \times 10^{-6}$	$9.07 \times 10^{-6}$	$7.19 \times 10^{-6}$

Table S4. Life cycle inventory of the Interdisciplinary building (Inter).

Inputs	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Electricity (MJ/m <sup>2</sup> ·person)	$6.89 \times 10^{-3}$	$6.55 \times 10^{-3}$	$7.17 \times 10^{-3}$	$5.93 \times 10^{-3}$	$6.53 \times 10^{-3}$	$6.13 \times 10^{-3}$	$5.20 \times 10^{-3}$	$5.32 \times 10^{-3}$	$5.83 \times 10^{-3}$	$6.62 \times 10^{-3}$	$6.37 \times 10^{-3}$	$6.07 \times 10^{-3}$
Natural gas (kg/m <sup>2</sup> ·person)	$3.42 \times 10^{-4}$	$3.32 \times 10^{-4}$	$4.08 \times 10^{-4}$	$6.77 \times 10^{-5}$	$4.04 \times 10^{-6}$	$4.10 \times 10^{-6}$	$3.84 \times 10^{-6}$	$3.79 \times 10^{-6}$	$3.12 \times 10^{-6}$	$1.41 \times 10^{-5}$	$1.06 \times 10^{-4}$	$1.84 \times 10^{-4}$
Water (kg/m <sup>2</sup> ·person)	$6.98 \times 10^{-3}$	$1.07 \times 10^{-2}$	$8.33 \times 10^{-3}$	$1.31 \times 10^{-2}$	$9.74 \times 10^{-3}$	$1.18 \times 10^{-2}$	$8.08 \times 10^{-3}$	$7.01 \times 10^{-3}$	$1.06 \times 10^{-2}$	$1.14 \times 10^{-2}$	$4.18 \times 10^{-3}$	$8.37 \times 10^{-3}$

Paper (kg/m <sup>2</sup> ·person)	6.71 × 10 <sup>-6</sup>	1.10 × 10 <sup>-5</sup>	8.43 × 10 <sup>-6</sup>	1.12 × 10 <sup>-5</sup>	1.32 × 10 <sup>-5</sup>	6.77 × 10 <sup>-6</sup>	7.13 × 10 <sup>-6</sup>	5.47 × 10 <sup>-6</sup>	9.11 × 10 <sup>-6</sup>	9.47 × 10 <sup>-6</sup>	9.58 × 10 <sup>-6</sup>	7.60 × 10 <sup>-6</sup>
<b>Outputs</b>												
Wastewater (kg/m <sup>2</sup> ·person)	6.98 × 10 <sup>-3</sup>	1.07 × 10 <sup>-2</sup>	8.33 × 10 <sup>-3</sup>	1.31 × 10 <sup>-2</sup>	9.74 × 10 <sup>-3</sup>	1.18 × 10 <sup>-2</sup>	8.08 × 10 <sup>-3</sup>	7.01 × 10 <sup>-3</sup>	1.06 × 10 <sup>-2</sup>	1.14 × 10 <sup>-2</sup>	4.18 × 10 <sup>-3</sup>	8.37 × 10 <sup>-3</sup>
Waste paper (kg/m <sup>2</sup> ·person)	6.71 × 10 <sup>-6</sup>	1.10 × 10 <sup>-5</sup>	8.43 × 10 <sup>-6</sup>	1.12 × 10 <sup>-5</sup>	1.32 × 10 <sup>-5</sup>	6.77 × 10 <sup>-6</sup>	7.13 × 10 <sup>-6</sup>	5.47 × 10 <sup>-6</sup>	9.11 × 10 <sup>-6</sup>	9.47 × 10 <sup>-6</sup>	9.58 × 10 <sup>-6</sup>	7.60 × 10 <sup>-6</sup>

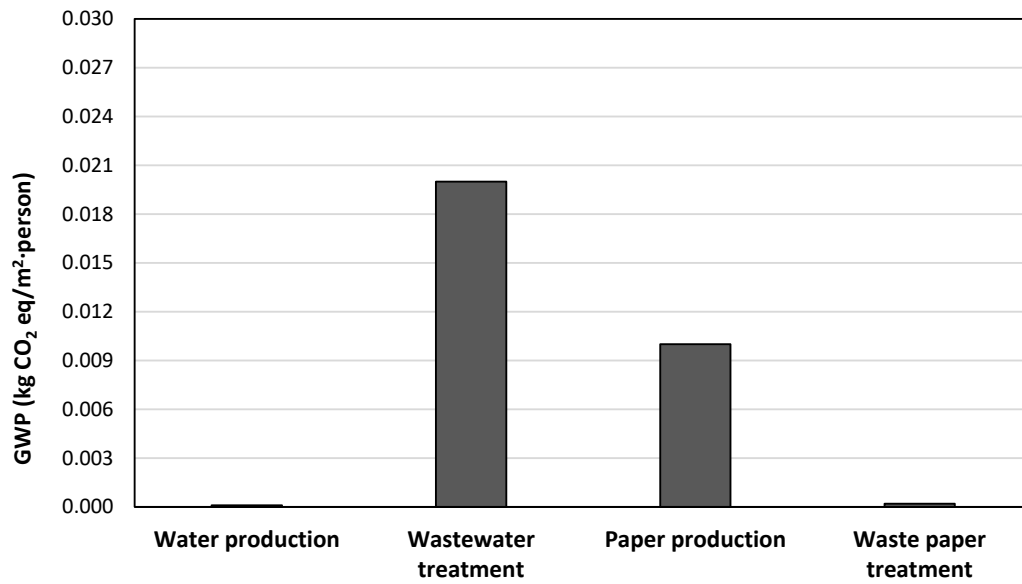
Table S5. Life cycle inventory of the Faculty of Medicine (Medicine).

Inputs	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Electricity (MJ/m <sup>2</sup> ·person)	1.44 × 10 <sup>-2</sup>	1.36 × 10 <sup>-2</sup>	1.43 × 10 <sup>-2</sup>	1.20 × 10 <sup>-2</sup>	1.28 × 10 <sup>-2</sup>	1.34 × 10 <sup>-2</sup>	1.30 × 10 <sup>-2</sup>	1.29 × 10 <sup>-2</sup>	1.28 × 10 <sup>-2</sup>	1.42 × 10 <sup>-2</sup>	1.41 × 10 <sup>-2</sup>	1.36 × 10 <sup>-2</sup>
Natural gas (kg/m <sup>2</sup> ·person)	9.55 × 10 <sup>-4</sup>	9.53 × 10 <sup>-4</sup>	6.80 × 10 <sup>-4</sup>	2.77 × 10 <sup>-4</sup>	8.67 × 10 <sup>-5</sup>	7.61 × 10 <sup>-5</sup>	3.62 × 10 <sup>-5</sup>	6.49 × 10 <sup>-5</sup>	7.21 × 10 <sup>-5</sup>	8.42 × 10 <sup>-5</sup>	1.55 × 10 <sup>-4</sup>	4.30 × 10 <sup>-4</sup>
Water (kg/m <sup>2</sup> ·person)	1.67 × 10 <sup>-2</sup>	1.66 × 10 <sup>-2</sup>	2.01 × 10 <sup>-2</sup>	1.87 × 10 <sup>-2</sup>	2.11 × 10 <sup>-2</sup>	1.67 × 10 <sup>-2</sup>	1.31 × 10 <sup>-2</sup>	1.16 × 10 <sup>-2</sup>	1.60 × 10 <sup>-2</sup>	2.62 × 10 <sup>-2</sup>	2.39 × 10 <sup>-2</sup>	2.32 × 10 <sup>-2</sup>
Paper (kg/m <sup>2</sup> ·person)	5.31 × 10 <sup>-6</sup>	8.73 × 10 <sup>-6</sup>	6.67 × 10 <sup>-6</sup>	8.85 × 10 <sup>-6</sup>	1.05 × 10 <sup>-5</sup>	5.35 × 10 <sup>-6</sup>	5.64 × 10 <sup>-6</sup>	4.32 × 10 <sup>-6</sup>	7.20 × 10 <sup>-6</sup>	7.49 × 10 <sup>-6</sup>	7.57 × 10 <sup>-6</sup>	6.01 × 10 <sup>-6</sup>
<b>Outputs</b>												
Wastewater (kg/m <sup>2</sup> ·person)	1.67 × 10 <sup>-2</sup>	1.66 × 10 <sup>-2</sup>	2.01 × 10 <sup>-2</sup>	1.87 × 10 <sup>-2</sup>	2.11 × 10 <sup>-2</sup>	1.67 × 10 <sup>-2</sup>	1.31 × 10 <sup>-2</sup>	1.16 × 10 <sup>-2</sup>	1.60 × 10 <sup>-2</sup>	2.62 × 10 <sup>-2</sup>	2.39 × 10 <sup>-2</sup>	2.32 × 10 <sup>-2</sup>
Waste paper (kg/m <sup>2</sup> ·person)	5.31 × 10 <sup>-6</sup>	8.73 × 10 <sup>-6</sup>	6.67 × 10 <sup>-6</sup>	8.85 × 10 <sup>-6</sup>	1.05 × 10 <sup>-5</sup>	5.35 × 10 <sup>-6</sup>	5.64 × 10 <sup>-6</sup>	4.32 × 10 <sup>-6</sup>	7.20 × 10 <sup>-6</sup>	7.49 × 10 <sup>-6</sup>	7.57 × 10 <sup>-6</sup>	6.01 × 10 <sup>-6</sup>

Table S6. Life cycle assessment of School of Mines Engineering (Mines).

Inputs	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
Electricity (MJ/m <sup>2</sup> ·person)	3.19 × 10 <sup>-2</sup>	2.83 × 10 <sup>-2</sup>	3.15 × 10 <sup>-2</sup>	2.52 × 10 <sup>-2</sup>	2.71 × 10 <sup>-2</sup>	2.68 × 10 <sup>-2</sup>	2.34 × 10 <sup>-2</sup>	2.10 × 10 <sup>-2</sup>	2.37 × 10 <sup>-2</sup>	2.78 × 10 <sup>-2</sup>	2.90 × 10 <sup>-2</sup>	2.86 × 10 <sup>-2</sup>
Natural gas (kg/m <sup>2</sup> ·person)	1.69 × 10 <sup>-3</sup>	2.26 × 10 <sup>-3</sup>	1.62 × 10 <sup>-3</sup>	8.09 × 10 <sup>-4</sup>	0	0	0	0	0	1.81 × 10 <sup>-4</sup>	1.10 × 10 <sup>-4</sup>	8.54 × 10 <sup>-4</sup>
Water (kg/m <sup>2</sup> ·person)	2.26 × 10 <sup>-2</sup>	2.30 × 10 <sup>-2</sup>	2.26 × 10 <sup>-2</sup>	1.21 × 10 <sup>-2</sup>	1.21 × 10 <sup>-2</sup>	1.21 × 10 <sup>-2</sup>	1.05 × 10 <sup>-2</sup>	1.09 × 10 <sup>-2</sup>	1.09 × 10 <sup>-2</sup>	1.92 × 10 <sup>-2</sup>	1.95 × 10 <sup>-2</sup>	1.92 × 10 <sup>-2</sup>

Paper (kg/m <sup>2</sup> ·person)	1.31·10 <sup>-5</sup>	2.15 × 10 <sup>-5</sup>	1.64 × 10 <sup>-5</sup>	2.18 × 10 <sup>-5</sup>	2.58 × 10 <sup>-5</sup>	1.32 × 10 <sup>-5</sup>	1.39 × 10 <sup>-5</sup>	1.07 × 10 <sup>-5</sup>	1.78 × 10 <sup>-5</sup>	1.85 × 10 <sup>-5</sup>	1.87 × 10 <sup>-5</sup>	1.48 × 10 <sup>-5</sup>
<b>Outputs</b>												
Wastewater (kg/m <sup>2</sup> ·person)	2.26 × 10 <sup>-2</sup>	2.30 × 10 <sup>-2</sup>	2.26 × 10 <sup>-2</sup>	1.21 × 10 <sup>-2</sup>	1.21 × 10 <sup>-2</sup>	1.21 × 10 <sup>-2</sup>	1.05 × 10 <sup>-2</sup>	1.09 × 10 <sup>-2</sup>	1.09 × 10 <sup>-2</sup>	1.92 × 10 <sup>-2</sup>	1.95 × 10 <sup>-2</sup>	1.92 × 10 <sup>-2</sup>
Waste paper (kg/m <sup>2</sup> ·person)	1.31 × 10 <sup>-5</sup>	2.15 × 10 <sup>-5</sup>	1.64 × 10 <sup>-5</sup>	2.18 × 10 <sup>-5</sup>	2.58 × 10 <sup>-5</sup>	1.32 × 10 <sup>-5</sup>	1.39 × 10 <sup>-5</sup>	1.07 × 10 <sup>-5</sup>	1.78 × 10 <sup>-5</sup>	1.85 × 10 <sup>-5</sup>	1.87 × 10 <sup>-5</sup>	1.48 × 10 <sup>-5</sup>



**Figure S1.** Contribution of the water and paper production and treatment tasks to the total global warming potential (GWP).