

# Impacto local y regional de la degradación del suelo sobre los recursos de suelo y agua: *importancia de la escala y modelos de predicción*



J. de Vente, G. Govers, M. Vanmaercke, G. Verstraeten, J. Poesen

# Índice

1. Impacto local y regional sobre recursos de suelo y agua
2. Importancia de la escala espacial y temporal de observación
3. Evaluación de modelos regionales de erosión
4. Prioridades para el desarrollo futuro de modelos de erosión
5. Conclusiones

# **1. Impacto local y regional**

# Impacto local y regional

*El suelo es un recurso natural que realiza funciones vitales para los ecosistemas, proporcionando bienes y servicios directos e indirectos*



# Impacto local y regional

## Local (*on-site*):

- *Degradación de suelo (-> fertilidad y materia orgánica)*
- *Reducción en productividad (-> cubierta vegetal y seguridad alimentaría)*

## Regional (*off-site*):

- *Sedimentación en ríos, embalses, y puertos*
- *Inundaciones*
- *Exportación de suelos contaminados*
- *Eutrofización de llanuras de inundación, lagos y deltas*

# Impacto local y regional



*Embalse de Valdeinfierno (Murcia), Mayo 2003*

# Impacto local y regional



*Presas nueva 2002*

*Presas antigua 1884*

*Embalse de Puentes (Murcia)*

# Impacto local y regional



*Extremadura, Septiembre 2002*

# Impacto local y regional



*Cazorla, Septiembre 2003*

# Impacto local y regional



*Embalse Fuensanta, Septiembre 2002*

# Impacto local y regional

Pérdida de capacidad de embalses globales: 0.5 - 1% anual  
(WCD, 2000; Verstraeten *et al* en prep.)

**Campo de lechugas (Agosto 2007, 42°C; Murcia)**



# Impacto regional



**La exportación de sedimentos hacia el delta del Ebro es el 1% del valor antes de la construcción de los embalses (Tena *et al.* 2011).**

# Objetivo

*‘Identificar el modelo más eficaz y eficiente para predecir la erosión del suelo y la exportación de sedimentos a escala de cuenca’*

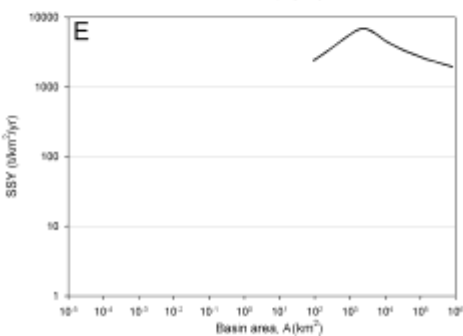
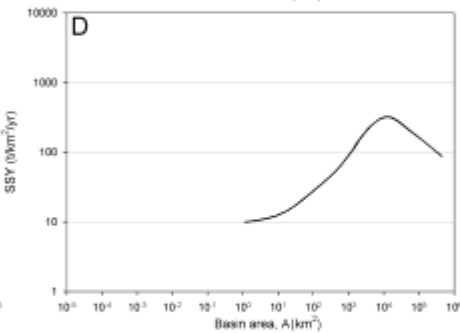
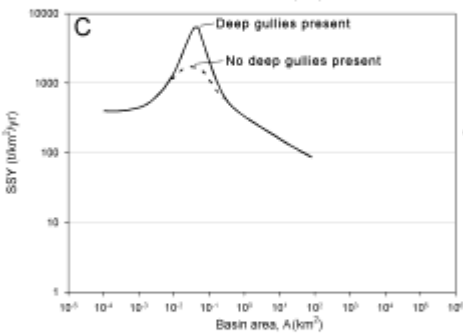
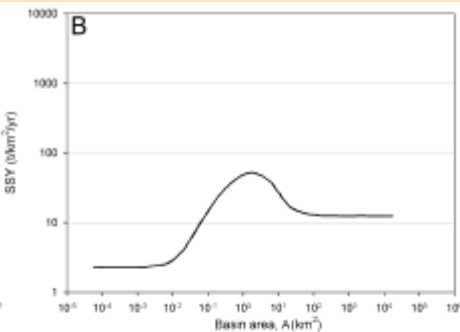
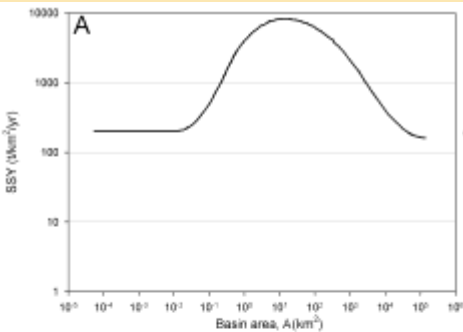
## ***Importancia de escala:***

- 1. ¿Que datos de erosión podemos comparar con los modelos?*
- 2. Predicciones se basen en la superficie de cuenca:*

$$SSY = \alpha A^\beta \quad SDR = \frac{SSY}{\text{gross \_ erosion}} \quad (\text{Maner 1958; Walling, 1983})$$

## **2. Importancia de la escala**

# Importancia de la escala



A: Walnut Gulch - San Pedro river basin, Arizona (USA) (Osterkamp and Toy, 1997)

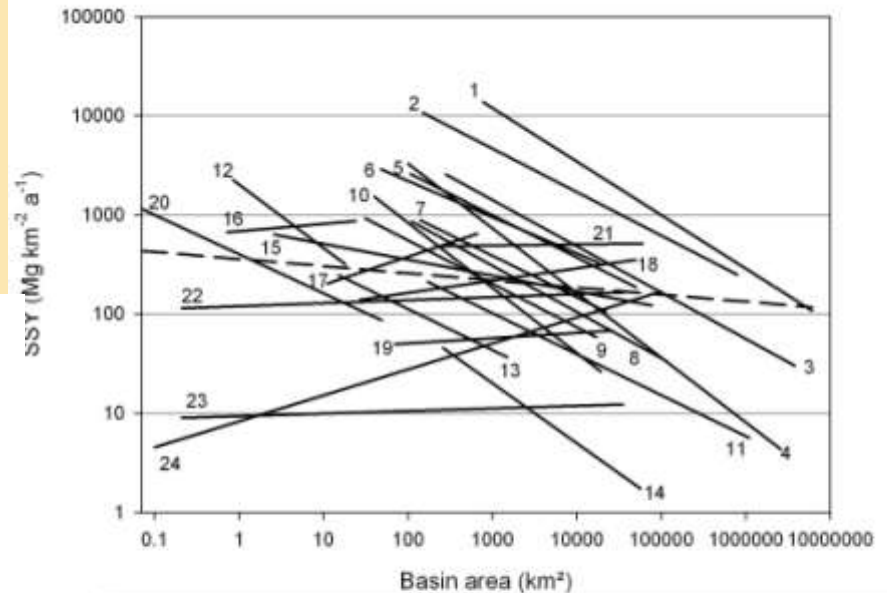
B: Susquehanna river basin, Pennsylvania (USA) (Osterkamp and Toy, 1997)

C: Central Belgium (Van Walleghem et al. 2005)

D: British Columbia (Canada), Church and Slaymaker (1989)

E: Yellow river (China) (Jiongxin and Yunxia, 2005)

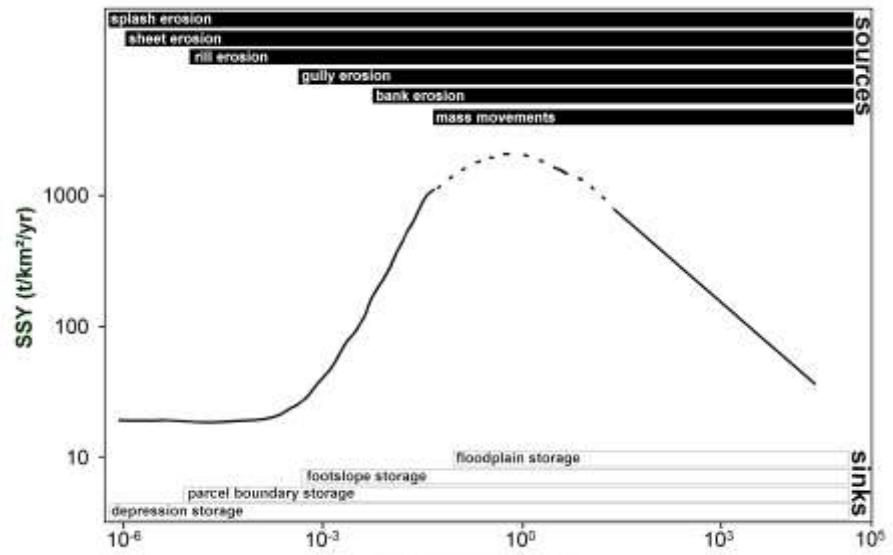
(de Vente et al 2007)



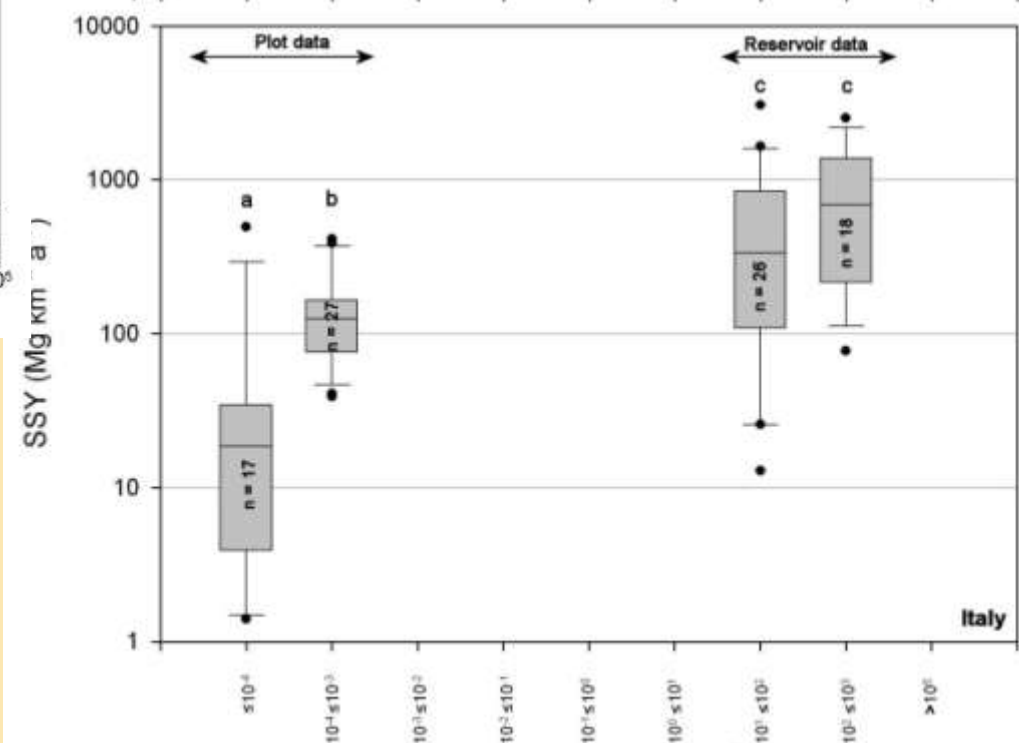
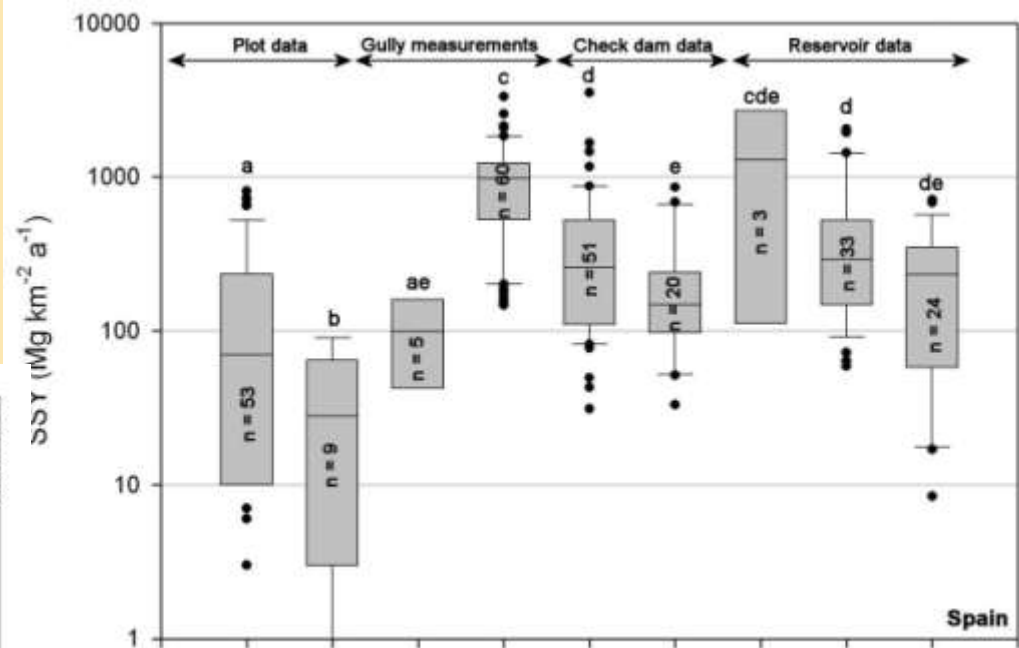
- (9) Spain:  $SSY=4139A^{-0.48}$  ( $R^2=0.17$ ,  $n=80$ ,  $p<0.001$ )
- (7) Algeria:  $SSY=7133A^{-0.42}$  ( $R^2=0.23$ ,  $n=15$ ,  $p=0.07$ )
- (19) Turkey:  $SSY=38.28A^{0.06}$  ( $R^2=0.012$ ,  $n=17$ ,  $p=0.67$ )
- (12) Tunisia 1:  $SSY=2027A^{-0.64}$  ( $R^2=0.20$ ,  $n=23$ ,  $p=0.03$ )
- (6) Tunisia 2:  $SSY=11954A^{-0.32}$  ( $R^2=0.58$ ,  $n=14$ ,  $p=0.002$ )
- (5) Morocco:  $SSY=19193A^{-0.43}$  ( $R^2=0.59$ ,  $n=17$ ,  $p<0.001$ )
- (17) Italy:  $SSY=103.6A^{0.25}$  ( $R^2=0.05$ ,  $n=44$ ,  $p=0.15$ )
- (13) Israel:  $SSY=753.7A^{-0.41}$  ( $R^2=0.22$ ,  $n=17$ ,  $p=0.06$ )
- (18) Iran:  $SSY=92.81A^{0.12}$  ( $R^2=0.04$ ,  $n=209$ ,  $p=0.006$ )
- (16) Ethiopia:  $SSY=712.32A^{0.01}$  ( $R^2=0.02$ ,  $n=10$ ,  $p=0.75$ )
- (1) High Mountains world-wide:  $SSY=494831A^{-0.54}$  ( $R^2=0.84$ ,  $n=21$ ,  $p<0.0001$ )
- (2) Mountains South Asia/Oceania:  $SSY=95750A^{-0.43}$  ( $R^2=0.63$ ,  $n=40$ ,  $p<0.0001$ )
- (3) Mountains N/S America, Africa, Alpine Europe:  $SSY=45286A^{-0.47}$  ( $R^2=0.61$ ,  $n=93$ ,  $p<0.0001$ )
- (8) Mountains non-Alpine Europe and High arctic:  $SSY=7581A^{-0.46}$  ( $R^2=0.74$ ,  $n=10$ ,  $p=0.001$ )
- (4) Uplands world-wide:  $SSY=66328A^{-0.52}$  ( $R^2=0.6$ ,  $n=57$ ,  $p<0.0001$ )
- (11) Lowlands world-wide:  $SSY=1784.8A^{-0.41}$  ( $R^2=0.53$ ,  $n=44$ ,  $p<0.0001$ )
- (14) Coastal plains world-wide:  $SSY=1336A^{-0.61}$  ( $R^2=0.52$ ,  $n=15$ ,  $p=0.002$ )
- (10) Romania:  $SSY=17068A^{-0.58}$  ( $R^2=0.58$ ,  $n=51$ ,  $p<0.0001$ )
- (15) USA:  $SSY=739.6A^{-0.16}$  (based on average values 800 reservoirs)
- (20) Central Belgium:  $SSY=400.36A^{-0.40}$  ( $R^2=0.64$ ,  $n=26$ ,  $p<0.0001$ )
- (21) Colombia, Magdalena river:  $SSY=452.86A^{0.01}$  ( $R^2=0.0003$ ,  $n=32$ ,  $p=0.93$ )
- (22) USA, Idaho, long-term:  $SSY=120.5A^{0.03}$  ( $R^2=0.03$ ,  $n=32$ ,  $p=0.32$ )
- (23) USA, Idaho, contemporary:  $SSY=9.35A^{0.03}$  ( $R^2=0.02$ ,  $n=30$ ,  $p=0.44$ )
- (24) Canada:  $SSY=8.27A^{0.20}$  ( $R^2=0.31$ ,  $n=165$ ,  $p<0.0001$ )
- All data:  $SSY=370.46A^{-0.08}$  ( $R^2=0.02$ ,  $n=877$ ,  $p<0.0001$ )

(de Vente et al. 2007)

# Escala espacial



(de Vente & Poesen 2005) Basin area, A (km<sup>2</sup>)



(de Vente et al in review) Catchment area (A; km<sup>2</sup>)

# 3. Evaluación de modelos

# Evaluación de modelos de erosión

Tipo		Modelo	Referencia
Regresión	No-distribuido	Regresión lineal	(de Vente et al., 2011)
		ART	(Syvitski et al., 2003)
		BQART	(Syvitski & Milliman, 2007)
Factoriales		FSM	(Verstraeten et al., 2003)
		PSIAC	(PSIAC, 1968)
	Distribuido	SPADS	(de Vente et al., 2008)
Empírico		WATEM-SEDEM	(Vanrompaey et al., 2001)
Físico		PESERA	(Kirkby et al., 2008)
		SWAT	(Arnold et al., 1998)

*(de Vente et al in review)*

## Criterio de selección:

- Representativo para conceptos distintos de modelización
- Disponibilidad de resultados de calibración y validación
- Aplicado a una selección de cuencas de estudio

# Evaluación de modelos de erosión

28 estudios (España, Italia, Etiopía, Bélgica)

		Modelo	Zona	N	Referencia <small>(de Vente et al in review)</small>
Regresión	No-distribuido	Regresión lineal	<i>España</i>	61	(de Vente et al., 2011)
			<i>Italia</i>	16	(Grauso et al., 2008)
			<i>Etiopía</i>	11	(Haregeweyn et al., 2008)
<i>Bélgica</i>			26	(Verstraeten and Poesen, 2001)	
ART		<i>España</i>	61	(de Vente et al., 2011)	
		<i>Global</i>	327	(Syvitski et al., 2003)	
Factoriales	No-distribuido	BQART	<i>Global</i>	488	(Syvitski and Milliman, 2007)
		FSM	<i>España</i>	60	(de Vente et al., 2005)
			<i>Italia</i>	28	(de Vente et al., 2006)
			<i>Etiopía</i>	8	(Haregeweyn et al., 2005)
PSIAC	<i>España</i>	60	(de Vente et al., 2005)		
	<i>Italia</i>	28	(de Vente et al., 2006)		
	<i>Etiopía</i>	8	(Haregeweyn et al., 2005)		
Empírico	Espacialmente distribuido	SPADS	<i>España</i>	61	(de Vente et al., 2008)
		WATEM-SEDEM	<i>España</i>	61	(de Vente et al., 2008)
			<i>Italia</i>	40	(Van Rompaey et al., 2005)
			<i>Etiopía</i>	9	(Haregeweyn et al., 2011)
			<i>Bélgica</i>	21	(Van Rompaey et al., 2001)
<i>Bélgica</i>	19	(Verstraeten, 2006)			
<i>Bélgica-Holanda</i>	5	(Ward et al., 2009)			
Físico	Espacialmente distribuido	PESERA	<i>España</i>	61	(de Vente et al., 2008)
			<i>Italia</i>	34	(Van Rompaey et al., 2003)
			<i>Bélgica</i>	16	(Van Rompaey et al., 2003)
		SWAT	<i>Etiopía</i>	1	(Betrie et al., 2011)
	<i>Bélgica</i>	1	(Lenhart et al., 2005)		

# Evaluación de modelos de erosión

## Ecuaciones principales:

(de Vente et al in review)

Model	Equation example	Reference
Regression	$\ln SSY = 1.35 + 0.07 * S + 0.11 * RR + 0.34 * PCI - 0.03 * Mat - 0.01 * Lime - 0.04 * Meta + 0.04 * Fluv$	(de Vente et al., 2011)
ART	$Q_s = 6.1 * 10^{-5} * A^{0.55} * R^{1.12} * e^{0.07 * T_m}$	(Syvitski et al., 2003)
BQART	$Q_s = 0.02 * B * Q^{0.31} * A^{0.50} * R * T$ (for $T \geq 2^\circ C$ ) $Q_s = 0.04 * B * Q^{0.31} * A^{0.50} * R$ (for $T < 2^\circ C$ )	(Syvitski and Milliman, 2007)
FSM	$SSY = 4139 * A^{-0.44} + 7.77 * FSMIndex - 310.99$	(de Vente et al., 2005)
PSIAC	$SSY = 35.74 * e^{0.031 * PSIACIndex}$	(de Vente et al., 2005)
SPADS	$SSY = 242.8 * SPADSIndex - 641.3$ (for $SDR > 5\%$ ) $SSY = 38.0 * SPADSIndex - 81.1$ (for $SDR < 5\%$ )	(de Vente et al., 2008)
SSY Index	$\ln SSY_n = 0.061 * DD - 0.045 * D + 0.034 * HE + 0.047 * MM - 0.8648$	(Delmas et al., 2009)
WATEM-SEDEM	$E = R * K * LS_{2D} * C * P$ $TC = KTC * R * K * A^{1.4} * S^{1.4}$ (when concentrated flow prevails) $TC = ktc * R * K * (LS_{2d} - 4.1 * s^{0.8})$ (when sheetwash prevails)	(Van Rompaey et al., 2001)
PESERA	$Er = k * \Delta * \Omega$	(Kirkby et al., 2008)
SWAT	$E = Q * K * L * S * C * P$	(Betrie et al., 2011)

# Criteria de evaluación

1. Exactitud de las predicciones

*( $R^2$ ; Model Efficiency: Nash Sutcliffe 1970)*

2. Información sobre procesos dominantes de erosión

3. Requisitos de datos de entrada al modelo y su calibración

4. El potencial para su uso en estudios de escenarios de cambio climático y uso de suelo

# Evaluación I: exactitud de las predicciones

(de Vente et al in review)

				<b>Validación</b>	
<b>Tipo</b>		<b>Modelo</b>	<b>N</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>ME</b>
Regresión	no-distribuido	Regresión	175	0.25 ( $\pm 0.10$ )	0.28 ( $\pm 0.54$ )
		ART	388	0.56 ( $\pm 0.02$ )	0.04
		BQART	488	0.94	
Factoriales	no-distribuido	FSM	96	0.67 ( $\pm 0.06$ )	0.67 ( $\pm 0.06$ )
		PSIAC	96	0.61 ( $\pm 0.02$ )	0.61 ( $\pm 0.13$ )
	Distribuido	SPADS	61	0.67	0.67
Empírico		WATEM-SEDEM	220	0.67 ( $\pm 0.25$ )	0.58 ( $\pm 0.28$ )
Físico	Distribuido	PESERA	111	0.16 ( $\pm 0.23$ )	-0.75
		SWAT	2	0.29	0.43 ( $\pm 0.57$ )

# Evaluación II: ¿información sobre procesos de erosión?

(de Vente et al in review)

<b>Tipo</b>		<b>Modelo</b>	<b>Información sobre procesos dominantes?</b>
Regresión	No-distribuido	Regresión lineal	NO
		ART	NO
		BQART	NO
Factoriales		FSM	<b>SI</b>
		PSIAC	<b>SI</b>
	Distribuido	SPADS	NO
Empíricos		WATEM-SEDEM	NO
Físicos		PESERA	NO
		SWAT	NO

# Evaluación III: Datos y calibración

(de Vente et al in review)

<b>Tipo</b>		<b>Modelo</b>	<b>Requisitos de datos</b>
Regresión	No-distribuido	Regresión lineal	Medio
		ART	Bajo
		BQART	Bajo-medio
Factoriales		FSM	Bajo
		PSIAC	Bajo
		Distribuido	SPADS
Empíricos		WATEM-SEDEM	Medio
Físicos		PESERA	Alto
		SWAT	Alto

# Evaluación IV: Potencial en estudios de escenarios

*(de Vente et al in review)*

<b>Tipo</b>		<b>Modelo</b>	<b>Potencial para escenarios</b>
Regresión	No-distribuido	Regresión lineal	Bajo
		ART	Bajo
		BQART	Bajo-medio
Factoriales		FSM	Bajo
		PSIAC	Bajo
		Distribuido	SPADS
Empíricos		WATEM-SEDEM	Medio
Físicos		PESERA	Medio-alto
		SWAT	Medio-alto

# Evaluación global

Objetivo	Recomendación
1. Seleccionar factores relevantes	Análisis de C/Regresión
2. Predecir exportación de sedimentos	FSM (A<10.000km <sup>2</sup> )
	PSIAC (A<10.000km <sup>2</sup> )
	BQART (A>10.000km <sup>2</sup> )
3. Identificar fuentes de sedimento	SPADS
	WATEM-SEDEM
4. Cuantificar erosión local	PESERA
	WATEM-SEDEM
5. Identificar procesos dominantes de erosión	FSM
	PSIAC
	Relación entre A-SSY
6. Impacto de escenarios <i>sobre erosión local</i>	PESERA
	WATEM-SEDEM
7. Impacto de escenarios <i>sobre exportación de sedimentos</i>	WATEM-SEDEM
	SPADS
	SWAT
	BQART <sup>#</sup>

(de Vente et al in review)

## **4. Prioridades para futuro desarrollo de modelos**

# Prioridades para futuro desarrollo de modelos

- **Calidad de los datos de entrada: uso de suelo y suelos**

- > *aumentar el detalle de datos de entrada (erodibilidad y cobertura vegetal)*
- > *utilizar conceptos simples para modelizar transporte de sedimentos*

- **Descripción incompleta de los procesos de erosión, transporte y deposición**

- > *incluir otras fuentes de erosión (cárcavas, cauces, movimientos en masa, ..)*
- > *incluir el efecto de medidas de conservación*

- **Cambio de uso de suelo**

- > *incluir uso de suelo como parámetro dinámico*

# Conclusiones

1. Es más fácil predecir la exportación de sedimentos que identificar sus fuentes y los procesos erosivos dominantes
2. Predecir: BQART (grandes cuencas), FSM y PSIAC (cuencas medianas)
3. Identificar fuentes y erosión local: SPADS, WATEM-SEDEM, PESERA
4. Exactitud de modelos distribuidos << modelos no-distribuidos
5. Estudio de escenarios es uno de los retos principales
6. Ningún modelo es apropiado para cumplir todos los objetivos:  
*-> integración de la observación y mediciones en el campo con la modelización*

Muchas gracias!

Joris@eeza.csic.es