



SMALL RuminanTs breeding for Efficiency and Resilience



## *Resultados del proyecto SMARTER: caracteres de eficiencia y resiliencia en ovino*



*Juan-José ARRANZ*  
Dpto. Producción Animal  
Facultad de Veterinaria  
Universidad de León



Proyecto financiado por el programa Horizonte2020 de la Unión Europea (Número de contrato 772787)



Seminario **OVIGÉN**  
XXV Foro Nacional del Ovino



# SMARTER

## *SMALL RuminanTs breeding for Efficiency and Resilience*



- Financiado dentro del programa Horizonte 2020 (772787)
- Coordinado por el INRAE (Francia)  INRAE  
la science pour la vie, l'humain, la terre
- Financiación de ~7M€ (4 años: 2018-2023 )

### OBJETIVO:

Estudiar cómo la selección genética puede ayudar a aumentar la **resiliencia** y la **eficiencia** de los pequeños rumiantes (ovejas y cabras) en diferentes poblaciones y sistemas de manejo diversos



# SMARTER se estructura sobre dos conceptos



- **RESILIENCIA:**

- *La capacidad de un animal (o un sistema productivo) para mantener (o volver rápidamente) a un alto nivel de producción y salud cuando se expone a una diversidad de desafíos:*
  - *Nutricionales*
  - *Sanitarios*
  - *Medioambientales*

- **EFICIENCIA:**

- *A nivel de los **animales**: la eficiencia de los recursos alimenticios utilizados por los animales: eficiencia alimentaria, la dinámica de la movilización de los tejidos corporales y la emisión de gases de efecto invernadero.*
- *A nivel del **sistema**: competencia con la alimentación humana (cereales), consumo de agua, emisión de gases. Su impacto en el medio ambiente.*



# Objetivos de SMARTER

- Identificar, caracterizar fenotípica y genéticamente y comprender los nuevos caracteres relacionados con la **Eficiencia y la Resiliencia (R&E)**
- Mejorar y desarrollar nuevas técnicas de predicción genómica en pequeños rumiantes
- Establecer nuevas estrategias de cría y gestión que incluyan esos nuevos caracteres relacionados con la **Eficiencia y Resiliencia** en función de su importancia y relevancia para diversos sistemas, razas y entornos.



# Organización del proyecto



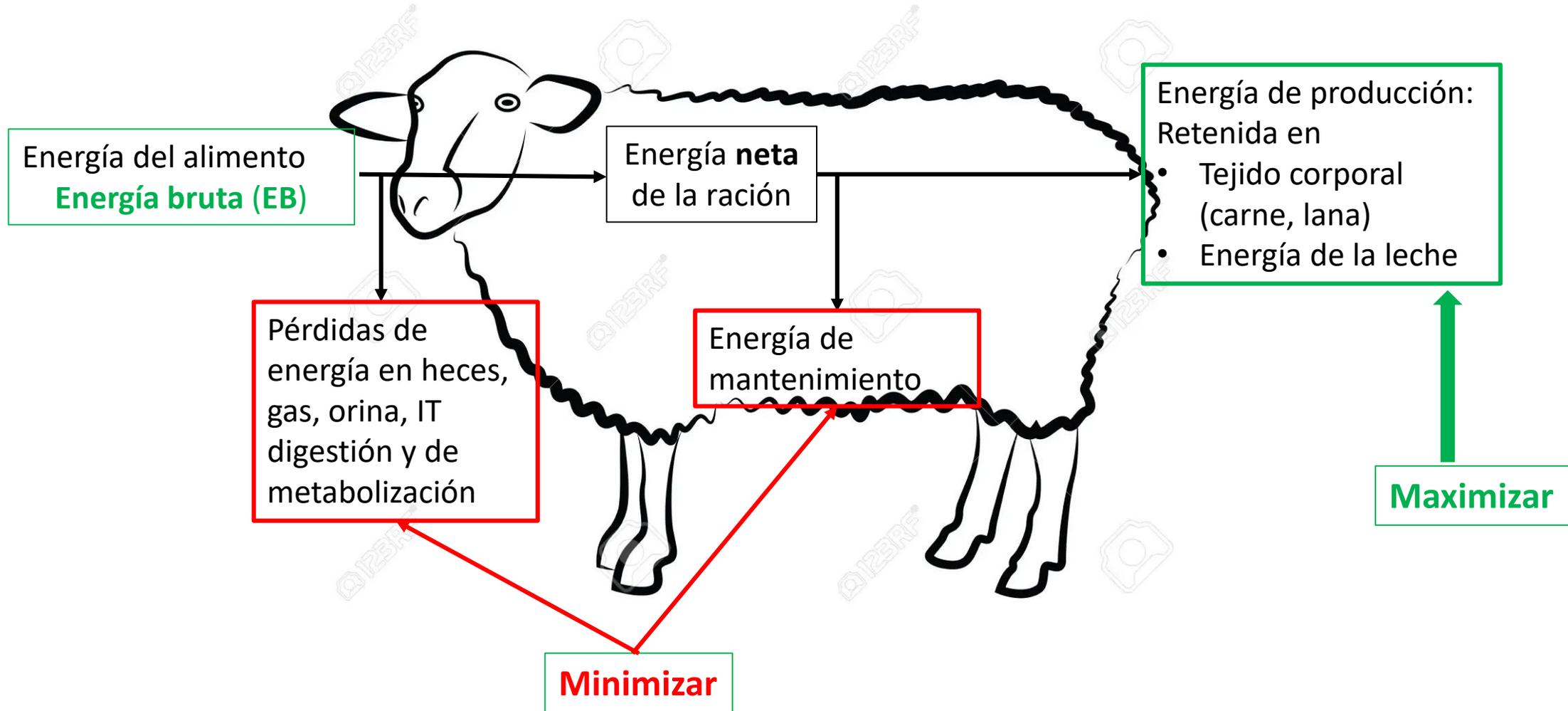
- **WP1** - Nuevos fenotipos para **mejorar la eficiencia** en pequeños rumiantes
- **WP2** - Nuevos fenotipos de **resiliencia** para mejorar la salud y el bienestar animal
- **WP3** - **Sinergias y Compensaciones** genéticos entre eficiencia y resiliencia
- **WP4** - Caracterización genómica de **razas poco utilizadas** y bien adaptadas
- **WP5** - **Modelización** genómica/genética y métodos de selección de caracteres de resistencia y eficiencia
- **WP6** - Herramientas prácticas de selección: beneficios de la cooperación internacional
- **WP7** - Objetivos de selección equilibrados para resiliencia agroecológica



# Principales resultados del proyecto

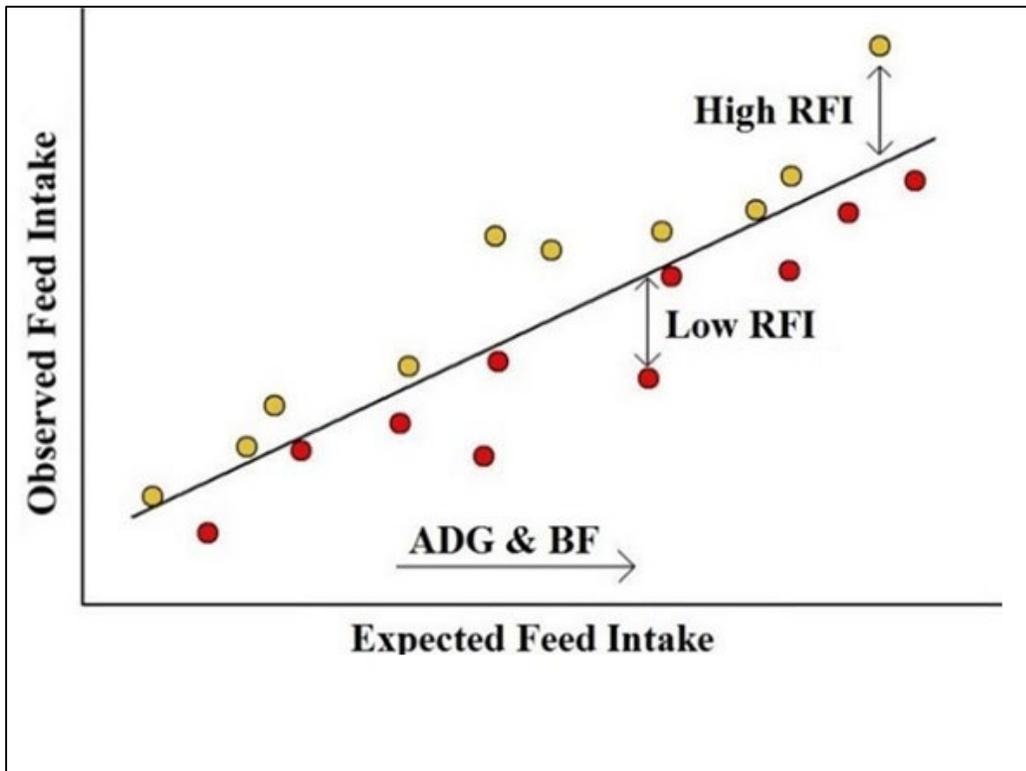
# WP1: Nuevos caracteres para la mejora de la eficiencia alimentaria en pequeños rumiantes

# ¿Qué es la Eficiencia alimentaria?



# Índices de valoración de la FE

**RFI:** DMI observado - DMI esperado



**FCR:** Feed conversion Ratio

- $FCR = \frac{\text{Energía del alimento ingerido}}{\text{Energía del producto}}$
- $FCR = \frac{\text{Peso del alimento ingerido}}{\text{Kg de producto (carne o leche)}}$

# Mejora genética para Eficiencia Alimentaria

- Caracteres de Eficiencia:
  - Índice de Eficiencia (FEI, FCR, IC)
  - Caracteres residuales (RFI, REI) kg/d
- Caracteres relacionados:
  - Ingestión de materia seca (DMI) kg/d
  - Energía de la producción (MilkNE, MeatNE) Mcal/d
  - Peso metabólico (MBW)  $\text{kg}^{0,75}$
  - Emisión de gases efecto invernadero (GHG)
- Problemas:
  - Difíciles de medir en pequeños rumiantes (DMI)



# WP1: Principales resultados

- Complicación de estimar a nivel individual y solo en granjas experimentales
- Se han medido diferentes **biomarcadores** relacionados con la eficiencia alimentaria:
  - Caracteres sencillos de medir en rutina (BCS, caracteres productivos)
  - Metabolitos de sangre y leche
  - Ácidos Grasos de la leche, Expresión génica en glándula mamaria
  - Microbiota
  - Marcadores de heces
- Se han estimado **la calidad predictiva de los proxies**
- Se han medido las **correlaciones** con caracteres productivos
- Se está analizando la Interacción G\*E en ovino y caprino
  - Romane (intensivo vs. extensivo)
  - Lacaune (Grecia vs. Francia)
  - Caprino (Alpina ecológico vs. intensivo)

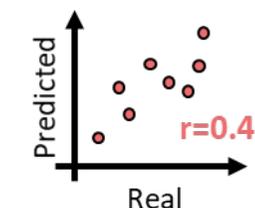
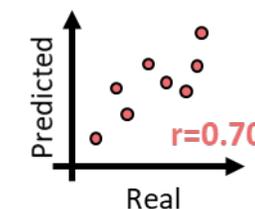


correlations ( $FE_{measured}$  & proxies)

correlations ( $FE_{predicted}$  &  $FE_{measured}$ ) without cross-validations

(Maximum value)

	RFI	FCR	FI	
	Fatty acids(milk)	0.48	0.70	
	Milk Metabolome	0,17	0.58	
	Milk DEGs	0.23	0.35	
	Backfat thickness	0.09	0.07	
	GHG (CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> )	0.28	0.35	
	PCA (MW, ADG,GHG)			0.82
	Backfat thickness	0.02	0.06	
	Microbiota 16S	0.07	0.40	0.59
	Metabolomics plasma	0.10	-	0.20
	NIRS faeces	0.01	0.15	0.19
	<sup>15</sup> N in plasma	0	0.67	-



## Performance of Proxies: Molecular information

Group of traits <sup>1</sup>	Trait <sup>2</sup>	Species <sup>3</sup>	Experimental Commercial	Reference FE trait	Protocol	Prediction performances <sup>4</sup>	# animals on which the prediction performance was assessed	Ease of recording
Epigenetic marks in milk somatic cells	DNA--DML (Differential Metilated Loci)	DS	experimental	RFI, FCR	Lactating animals, cf. D1.1	R <sup>2</sup> = 0.344 (RFI) R <sup>2</sup> = 0.332 (FCR)	28	3
Milk composition	Milk fatty acid profile	DS	experimental	RFI, FCR	Lactating animals, cf. D1.1	R <sup>2</sup> = 0.720 (RFI) R <sup>2</sup> = 0.745 (FCR)	39	2
Milk composition	Untargeted metabolome	DS	experimental	RFI, FCR	Lactating animals, cf. D1.1	R <sup>2</sup> = 0.170 (RFI) R <sup>2</sup> = 0.580 (FCR)	39	2
Milk somatic cells whole transcriptome (DEG)	RNA-seq	MS	experimental	RFI, FCR	Lactating animals, cf. D1.1	R <sup>2</sup> = 0.234 (RFI) R <sup>2</sup> = 0.3532 (FCR)	24	3

- 8 French Lacaune commercial farms
- Multiple stages (2 years, 6 lactation months)
- 41,137 MIR spectra (~ 8 spectra / ewes over 2 years)
- 5,281 phenotyped females
- 1,794 genotyped females (38,523 SNP)
- 19,157 individuals in pedigree

## Heritabilities :

$$y = X\beta + Zu + Wp + \epsilon \quad [1]$$

$\beta$  : flock\*year\*lactation month + parity

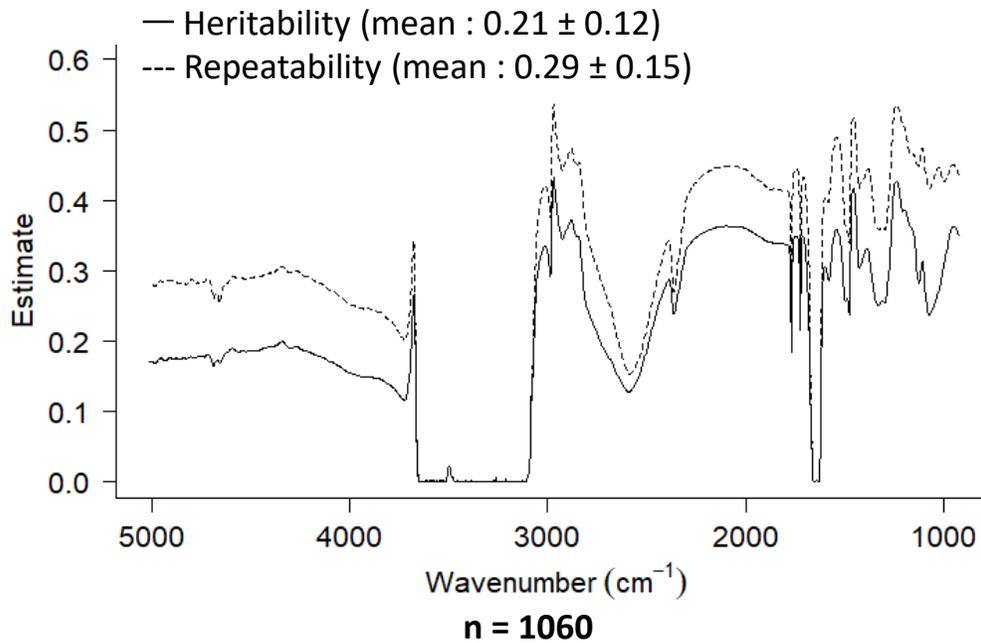
➔ Merging all data & at each lactation stage

## Genetic correlations :

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & 0 \\ 0 & X_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Z_1 & 0 \\ 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_1 & 0 \\ 0 & W_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} \quad [2]$$

$\beta$  : flock\*year + parity

➔ Between 2 groups of lactation stage



- Heritability profile along the MIR spectra for ewes is close to the ones for dairy cattle or goats



- Se han estimado las correlaciones genéticas para ovejas de carne (3), ovejas lecheras (3) y cabras lecheras (3) entre la eficiencia alimentaria y los caracteres de producción
- Un aumento de la producción (producción de leche, peso corporal) asociado a un aumento de la ingesta de pienso.
- Un aumento de la producción (peso corporal) asociado a un aumento de las emisiones de metano.
- La selección en contra de la ingesta de pienso/emisiones de metano tendrá consecuencias indeseables en la producción.

- El contenido en lactosa puede utilizarse para seleccionar cabras más eficientes, sin afectar desfavorablemente a la MY.
- Se puede utilizar el contenido de grasa, pero no se correlaciona favorablemente con la MY.
- REI (en granja) correlacionado positivamente con MY y negativamente con F% y P%
- RFI no desfavorablemente relacionado con la mayoría (MD) de los rasgos de producción en ovejas de carne, y favorablemente correlacionado con metano y consumo de pienso.

## Merino

Heritability (sd) - diagonal - bold

G correlation (sd)

	FW	FD	BW	FEC	CH4	FI	RFI	REA	BF
FW	<b>0.30 (0.01)</b>	0.35 (0.02)	0.29 (0.02)	0.03 (0.05)	0.17 (0.15)	0.18 (0.12)	0.02 (0.15)	0.07 (0.08)	0.15 (0.11)
FD	0.13	<b>0.64 (0.01)</b>	0.25 (0.02)	-0.08 (0.04)	0.17 (0.17)	0.20 (0.14)	0.15 (0.15)	0.13 (0.08)	0.40 (0.08)
BW	0.45	0.13	<b>0.41 (0.01)</b>	-0.07 (0.04)	0.58 (0.15)	0.68 (0.09)	-0.22 (0.14)	0.50 (0.06)	0.44 (0.08)
FEC	-0.02	-0.05	-0.07	<b>0.20 (0.01)</b>	-0.20 (0.20)	-0.06 (0.22)	0.13 (0.19)	-0.21 (0.11)	-0.02 (0.15)
CH4	0.15	0.09	0.30	0.08	<b>0.34 (0.09)</b>	0.75 (0.12)	0.43 (0.19)	0.37 (0.17)	0.36 (0.15)
FI	0.34	0.14	0.48	-0.04	0.29	<b>0.41 (0.08)</b>	0.79 (0.09)	0.39 (0.14)	0.34 (0.12)
RFI	0.00	-0.01	-0.02	-0.08	-0.02	0.63	<b>0.37 (0.08)</b>	-0.15 (0.20)	-0.17 (0.16)
REA	0.23	0.18	0.47	-0.02	0.13	0.30	-0.02	<b>0.39 (0.04)</b>	0.53 (0.10)
BF	0.10	0.03	0.24	-0.09	0.04	0.11	0.01	0.21	<b>0.32 (0.04)</b>

P correlation

FW fleece weight, FD fibre diameter, BW bodyweight, FEC faecal egg count, CH4 daily methane, FI feed intake, RFI residual feed intake, REA rib eye area, BF backfat thickness

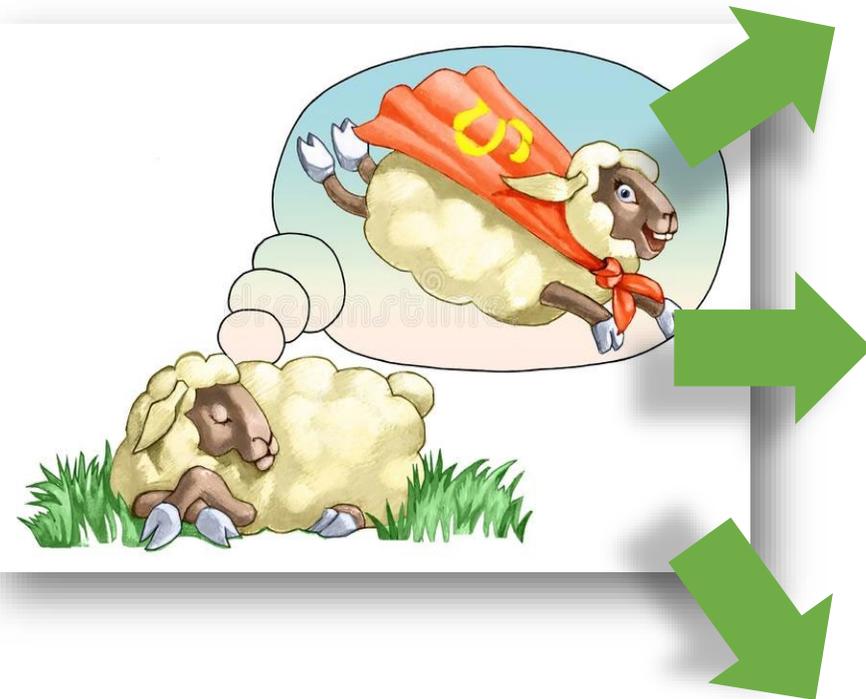
Genetic correlations	Net Energy converted in milk ratio	Residual energy intake (REI)
Daily Milk Yield	0.74 (0.04)	-0.79 (0.04)
Fat Content	0.11 (0.07)	0.46 (0.06)
Protein Content	-0.18 (0.07)	0.75 (0.04)
Net Energy converted in milk ratio		-0.63 (0.06)
Residual Energy Intake	-0.63 (0.06)	



# WP2: Nuevos caracteres de **resiliencia** para mejorar la salud y el bienestar

1. **Desarrollar, testear e implementar** nuevos fenotipos para **salud, resistencia y resiliencia** a enfermedades endémicas
2. **Desarrollar nuevas fenotipos** a partir de la captura automática de datos (antes y después del parto) para **supervivencia fetal y neonatal**
3. **Cuantificar nuevos indicadores de comportamiento** para **adaptación** a diferentes sistemas productivos incluidos los sistemas de producción extensivos
4. **Identificar nuevas características** para **resiliencia a lo largo de la vida** y evaluar su impacto en los programas nacionales de mejora genética de pequeños rumiantes

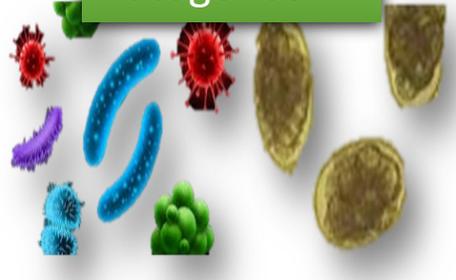
# Nuevos retos a los que se enfrenta el ganado ovino



Nutrición



Patógenos



Estrés térmico



Rendimiento productivo:

- Crecimiento
- Reproducción
- Lactación

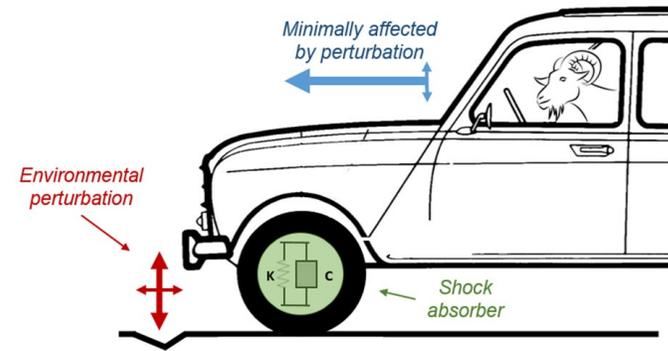
# Resiliencia

Capacidad para

**1- Mantener, y**

**2- Volver rápidamente a \*\*\***

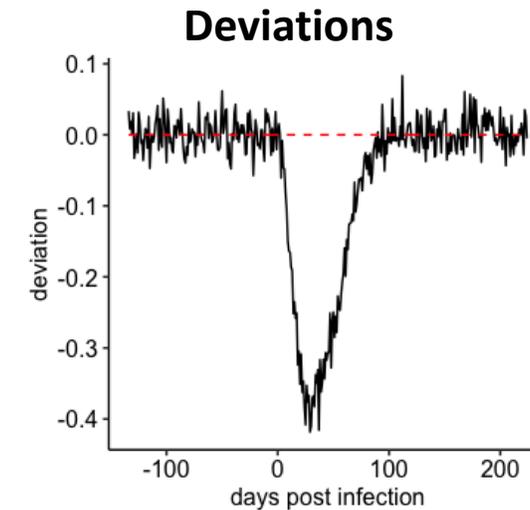
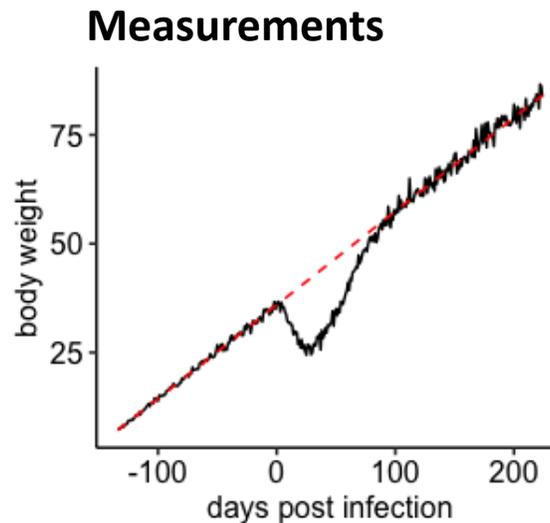
una trayectoria de producción, salud y bienestar sin alteraciones cuando se exponen a diversos retos



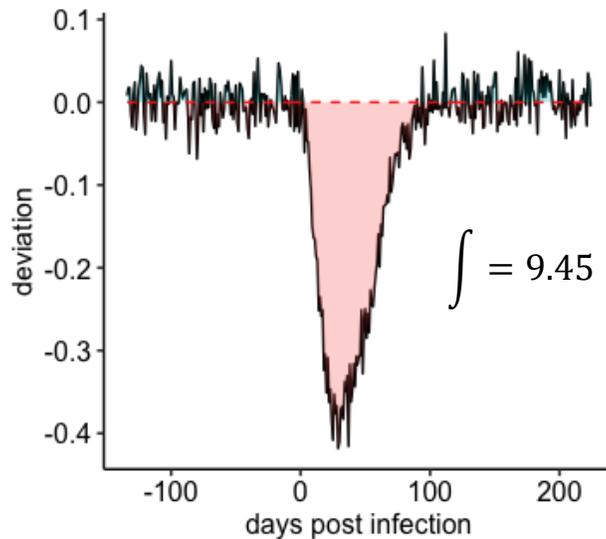
## Datos necesarios:

- Medidas de rendimiento longitudinales a lo largo de un periodo de “desafío”
- Trayectoria objetivo para la medida de rendimiento (es decir, en ausencia de desafío)

— Producción obtenida  
- - - Trayectoria objetivo  
(puede no conocerse)



Área bajo la curva de desviaciones de la trayectoria objetivo



## Indicadores de resiliencia (IR)

- Área bajo la curva
- Autocorrelación
- Cuadrado medio
- Asimetría
- Varianza

## Objetivos para la validación de los indicadores estadísticos de resiliencia

- ¿Tienen los distintos tipos de respuesta valores diferentes para los IR?
- ¿Hasta qué punto son sensibles los IR a las diferencias en la amplitud de la perturbación, la velocidad de recuperación y la estructura de los datos?
- ¿Afectan los distintos métodos de estimación de las trayectorias de los objetivos a las estimaciones de los IR?

# Respuestas potenciales frente a diferentes retos

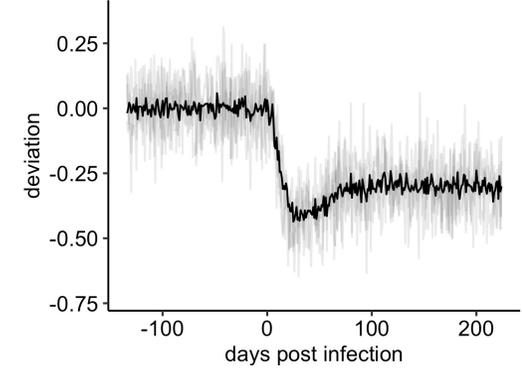
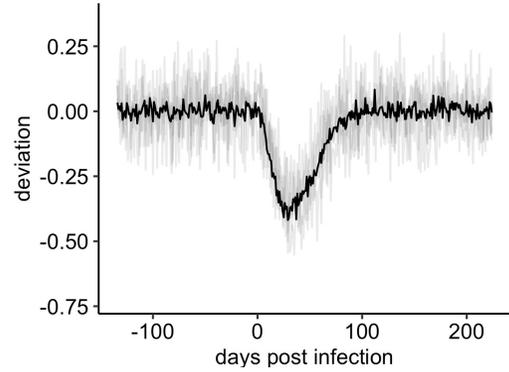
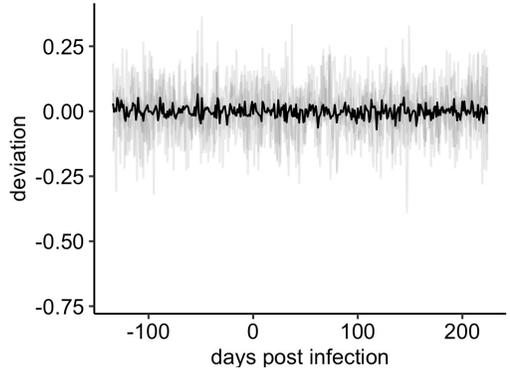


### Totalmente resiliente

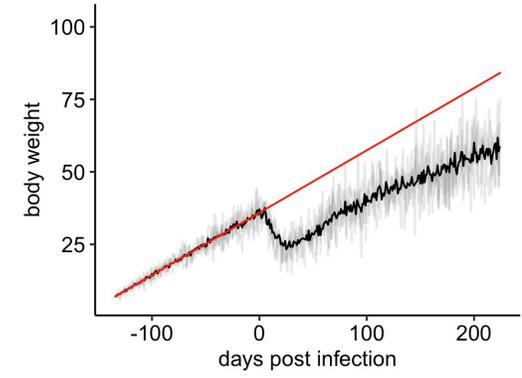
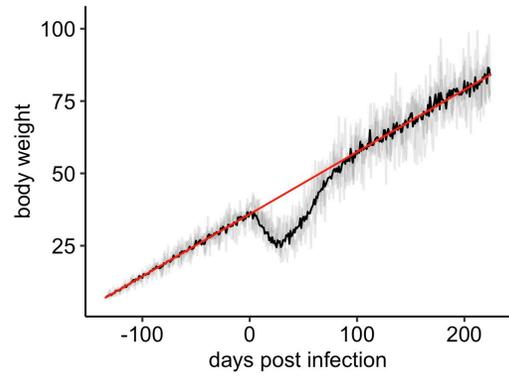
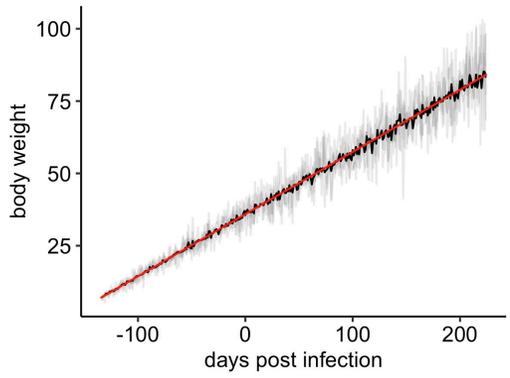
### Parcialmente resiliente

### No-resiliente

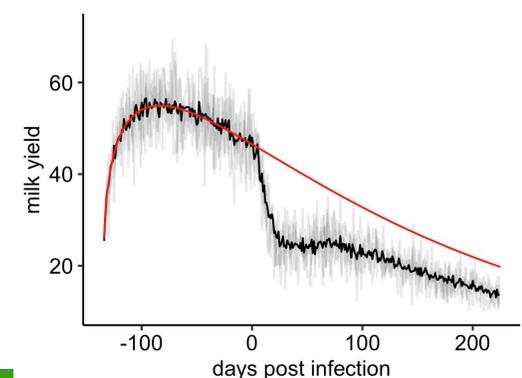
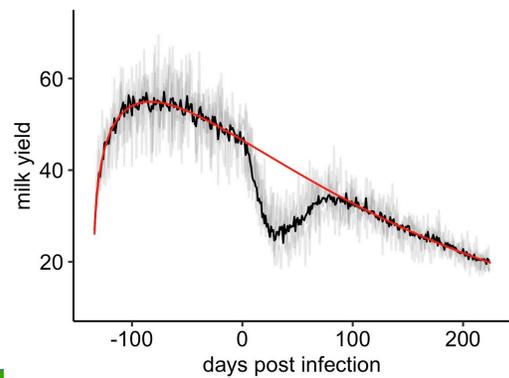
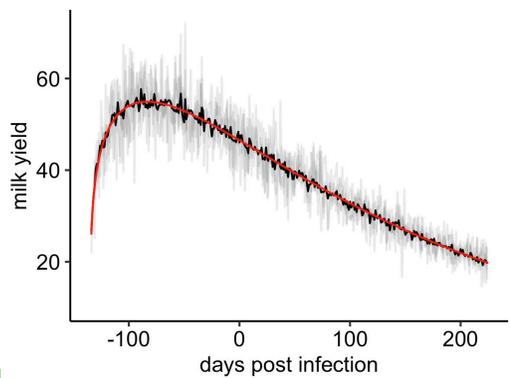
Trayectoria conocida del objetivo

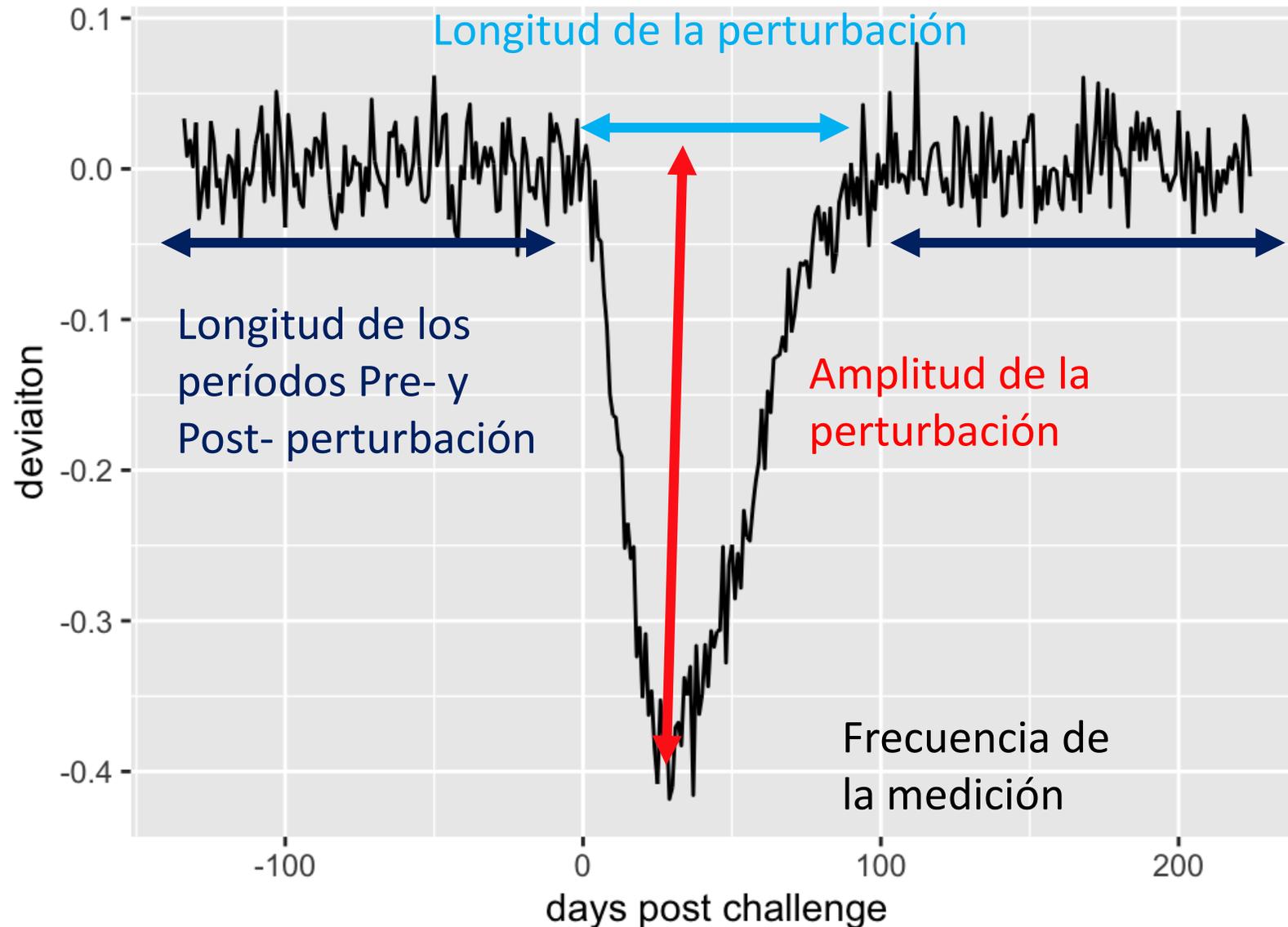


Trayectoria lineal desconocida del objetivo



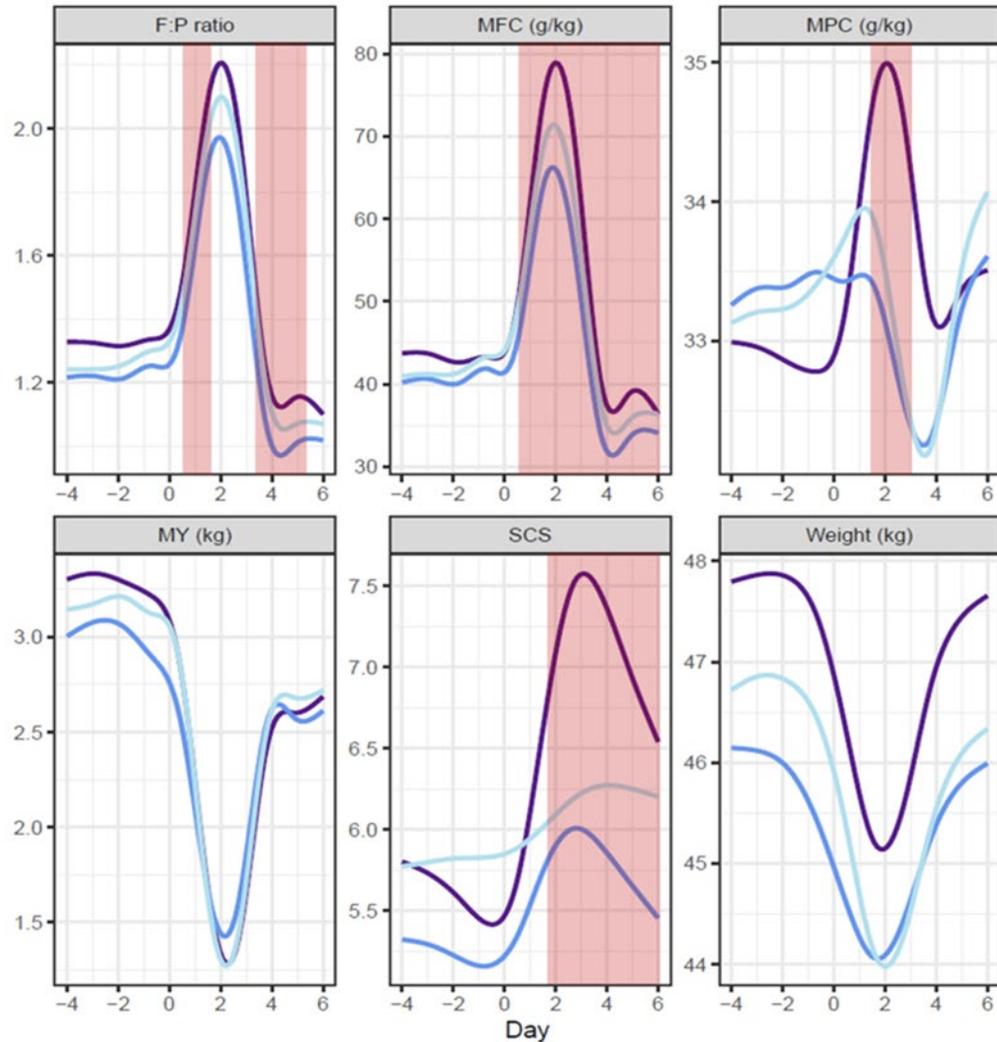
Trayectoria del objetivo no lineal desconocida



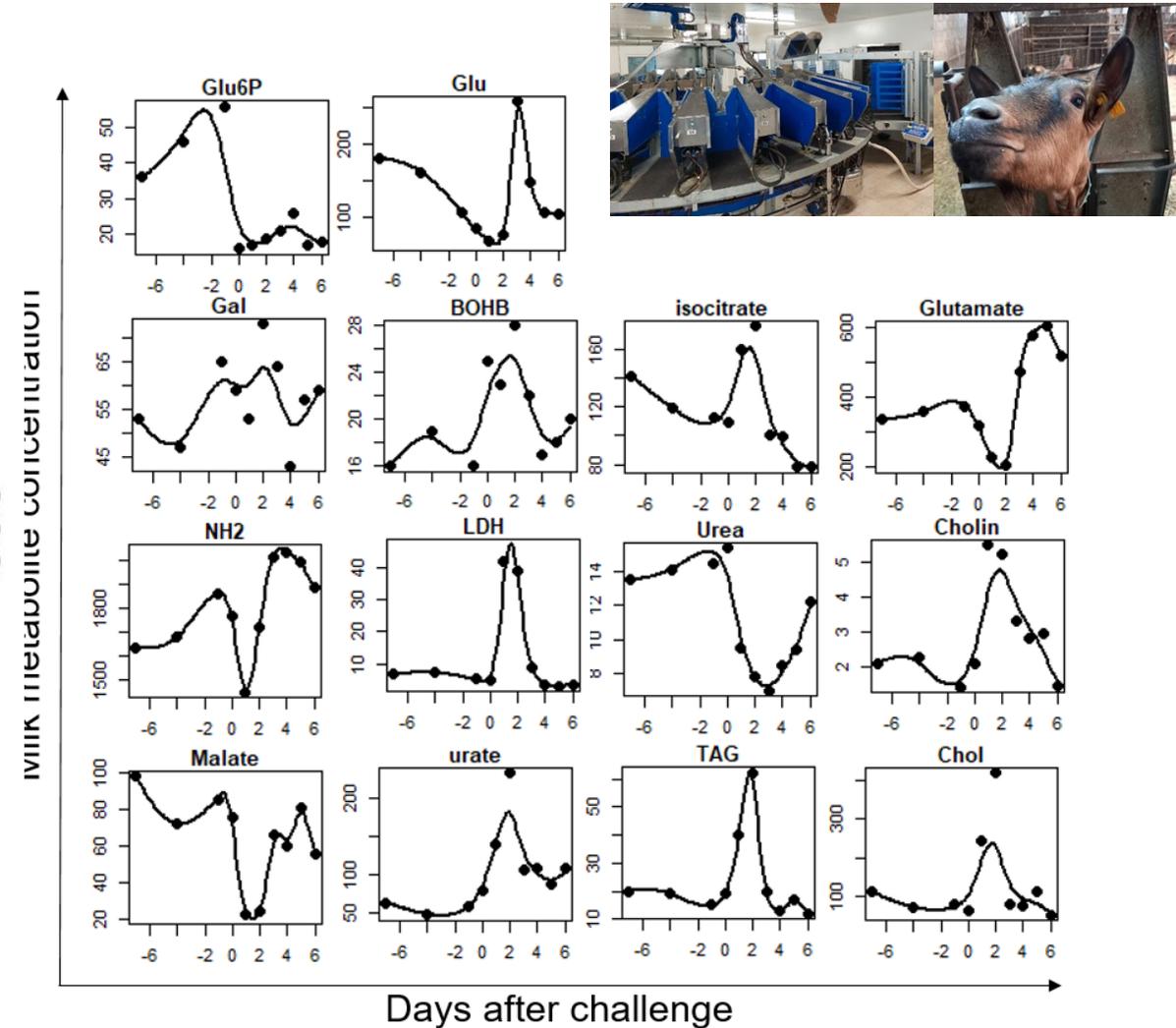


- Sensibilidad de los indicadores de resiliencia sobre la estructura de datos y las características de recuperación para trayectorias
- Conocidas
  - Desconocidas

# Ejemplo de variación Producción de leche

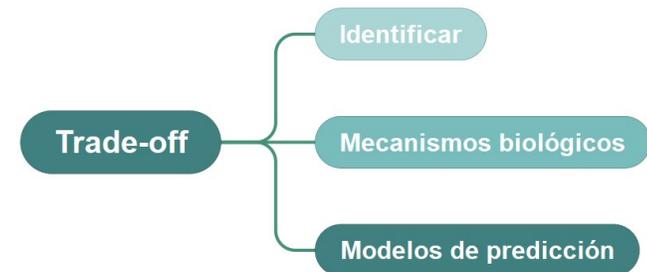


Cluster  
 — 1 (n=36)  
 — 2 (n=53)  
 — 3 (n=49)



- Los IR funcionan mejor con mediciones regulares y frecuentes
- Todos los IRs funcionan bien para los animales totalmente resilientes
- Riesgo de clasificación errónea cuando se comparan animales parcialmente resilientes y no resilientes
  - ✓ Incluir datos anteriores y posteriores a la perturbación
  - ✓ Utilizar AUC, media cuadrática y varianza
  - ✓ Ajuste en función de las diferencias en el inicio de la perturbación

# WP3: Sinergias y compensaciones (antagonismos) genéticas entre eficiencia y resiliencia



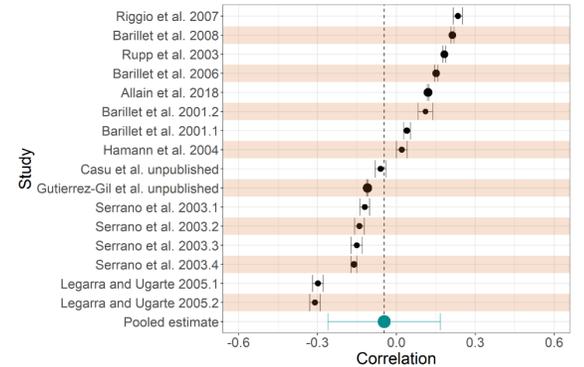
- Identificar **compensaciones y sinergias** bajo control genético (Tarea 3.1)
- Comprender mejor los **mecanismos biológicos** que subyacen a esas compensaciones y sinergias y cómo afectan la resiliencia y la eficiencia (Tarea 3.2)
- Desarrollar **modelos de predicción** para gestionar las posibles sinergias/antagonismos y optimizar la resiliencia y la eficiencia en condiciones difíciles (desafíos) (Tarea 3.3)



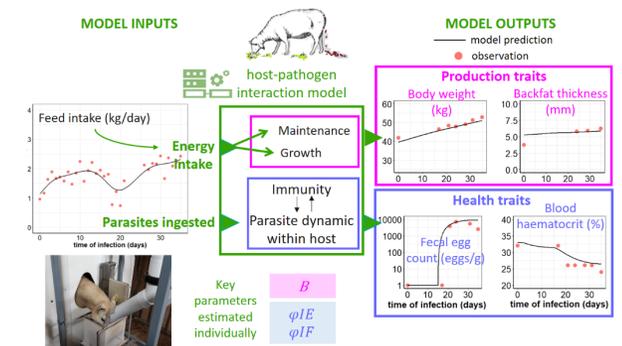
# WP3: Principales resultados



- Pueden existir antagonismos en algunas situaciones cuando se plantea la mejora de componentes de la leche (grasa proteína) con caracteres de resiliencia (SCC) en ovejas y cabras de leche
- Las ovejas seleccionadas para resistencia a parásitos no presentan diferencias en RFI o caracteres de crecimiento
- Desarrollo de modelos mecanicistas para el manejo de sinergias antagonismos entre caracteres de Resiliencia y Eficiencia mediante el análisis de trayectorias



Trait	GIN line		P
	Resistant	Susceptible	
RFI	0.02 ± 0.018	-0.02 ± 0.016	0.116
FCR	9.0 ± 0.62	7.6 ± 0.75	0.161
DMI	0.97 ± 0.036	0.98 ± 0.044	0.969
ADG	123 ± 0.90	143 ± 0.11	0.168
Initial BW	27.1 ± 0.53	27.7 ± 0.64	0.483
Final BW	33.9 ± 0.46	34.7 ± 0.54	0.292
Initial REA	4.9 ± 0.18	4.4 ± 0.22	0.117
Final REA	5.9 ± 0.17	5.5 ± 0.22	0.124
Initial FT	1.3 ± 0.06	1.2 ± 0.07	0.372
Final FT	1.4 ± 0.07	1.4 ± 0.09	0.932

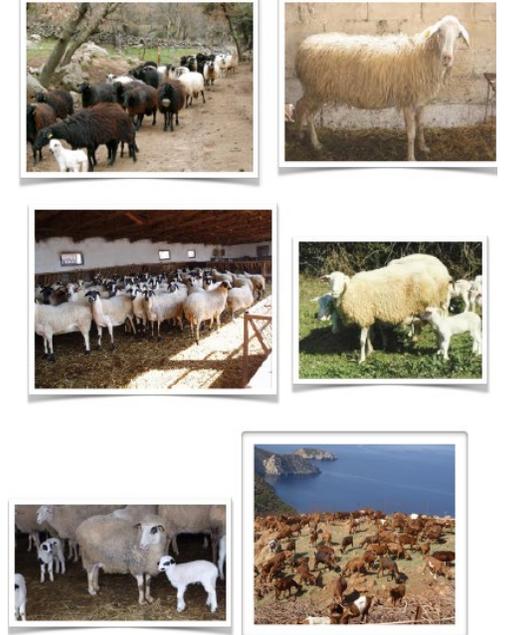


# WP4: Caracterización genómica de razas ovinas poco utilizadas y su adaptación al medio ambiente



# WP4: Principales resultados

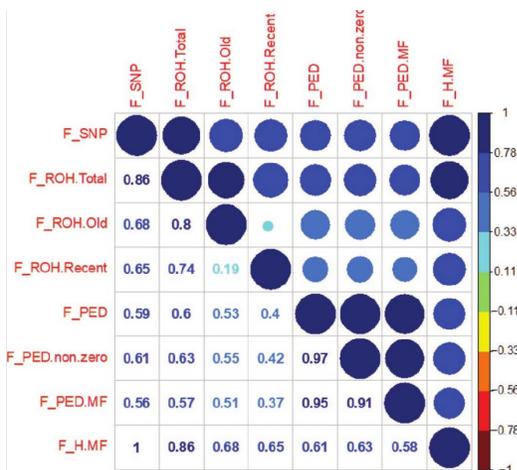
- Muestreo de razas poco utilizadas
- Desarrollo de base de datos de genotipado incluyendo datos de localización
- Análisis de razas globales vs. locales



Smarter Breeds Datasets Samples Logout				
Search datasets by content				
Dataset	Species	Breed	Country ↑	Type
ADAPTmap_genotypeTOP	Goat	144 breeds	36 Countries	genotypes,background
ADAPTmap_phenotype_20	Goat	144 breeds	36 Countries	phenotypes,background
SMARTER_OVIS_FRANCE	Sheep	Bizet, Manech Tete Noire, Solognote, Rouge du Roussillon	France	genotypes,foreground
SMARTER_CHFR.zip	Goat	Provencale, Fosses	France	genotypes,foreground
High density genotypes of French Sh...	Sheep	27 pops	France	genotypes,background
AUTH_OVN50KV2_CHIOS_Sheep	Sheep	Frizarta, Pelagonia, Chios	Greece	genotypes,foreground
AUTH_OVN50KV2_CHIOS_Sheep	Sheep	Frizarta, Chios	Greece	genotypes,foreground
AUTH_GOAT53KV1_EGHORIGoat	Goat	Eghoria, Skopelos	Greece	genotypes,foreground
AUTH_OVN50KV2_CHIOS_Sheep	Sheep	Chios, Mytilini, Boutsko	Greece	genotypes,foreground

<https://webservice.ibba.cnr.it/smarter/datasets>

# WP5: Modelos y métodos genómicos/genéticos para la selección

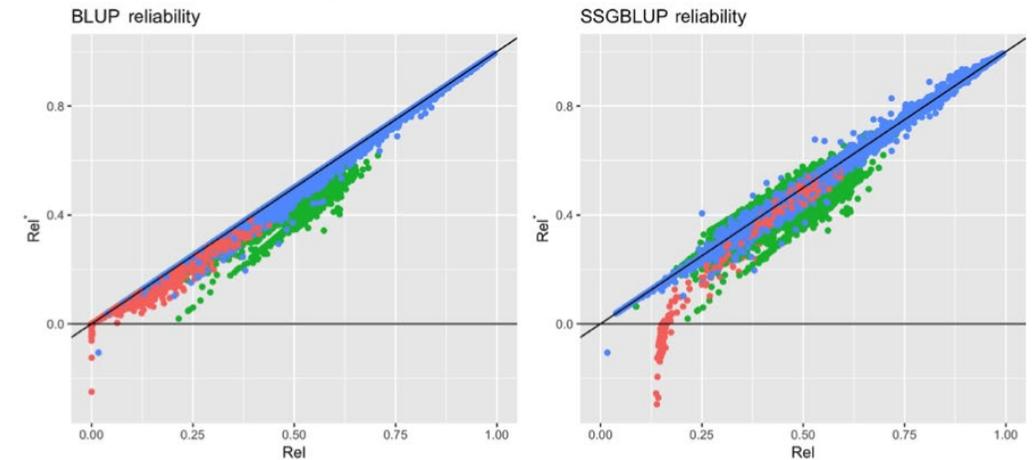
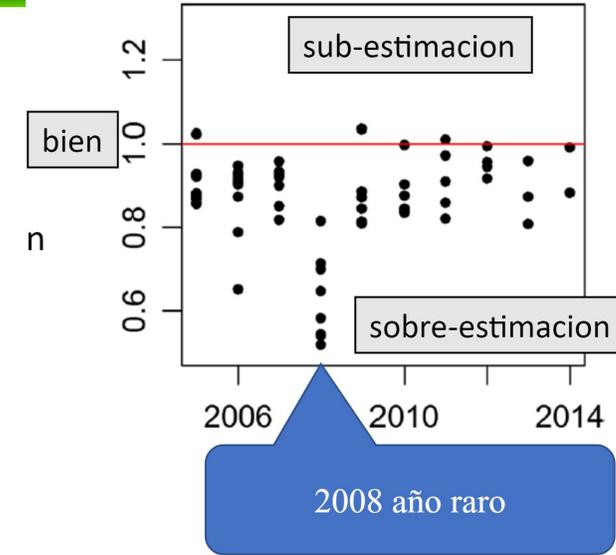


$$r(\alpha_i^b, \alpha_i^{b'}) \approx \frac{\left(\frac{\sigma_A^2}{H_f} + 4\left(\frac{D_{b,f}}{2} + \frac{D_{b',f}}{2} - \frac{D_{b,b'}}{2}\right)\frac{\sigma_D^2}{H_f^2} + 8\left(\frac{D_{b,f}}{2} + \frac{D_{b',f}}{2} - \frac{D_{b,b'}}{2}\right)\frac{\sigma_{AA}^2}{H_f H_f}\right)}{\sqrt{\left(\frac{\sigma_A^2}{H_f} + 4D_{b,f}\frac{\sigma_D^2}{H_f^2} + 8D_{b,f}\frac{\sigma_{AA}^2}{H_f H_f}\right)\left(\frac{\sigma_A^2}{H_f} + 4D_{b',f}\frac{\sigma_D^2}{H_f^2} + 8D_{b',f}\frac{\sigma_{AA}^2}{H_f H_f}\right)}}$$

1. Desarrollar modelos genéticos para tratar la resiliencia y la eficiencia bajo desafíos **micro y macroambientales**
2. Inferir **valores genéticos** (genómicos) para **Resiliencia y Eficiencia** a partir de datos longitudinales sobre caracteres productivos
3. Desarrollar y evaluar **métodos de predicción genómica** especialmente adaptados a los pequeños rumiantes
4. Desarrollar y aplicar nuevos métodos de mejora para poblaciones seleccionadas e **infrautilizadas** de ovinos y caprinos, conservando la variabilidad

# WP5: Principales resultados

- Desarrollo de modelos para estimar la **robustez** en condiciones difíciles
- Desarrollo de retos realistas y sistemas de detección de estrés y estimación EBV para resistencia al estrés
- Mejor gestión de la consanguinidad
- Identificación de sesgos en las valoraciones genéticas en pedigrís poco profundos



# WP6: Herramientas prácticas para la selección: beneficios de la colaboración internacional y de la armonización

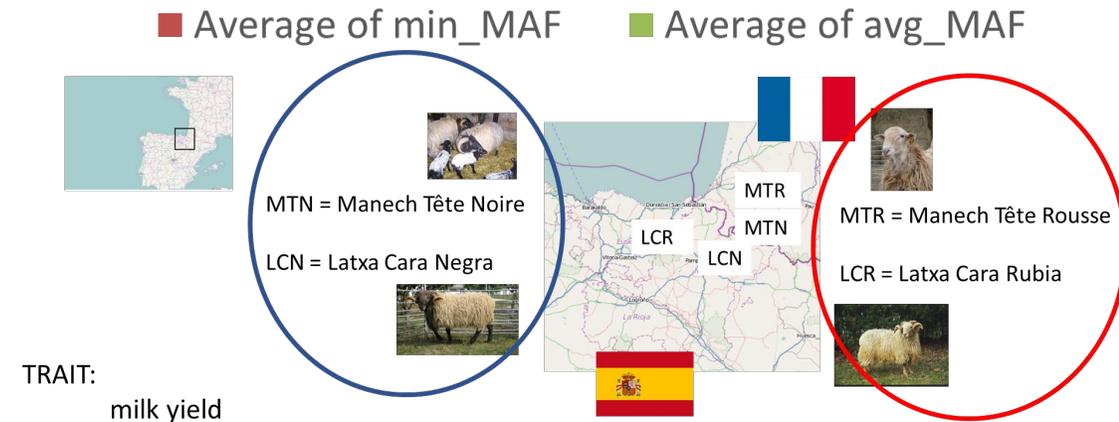
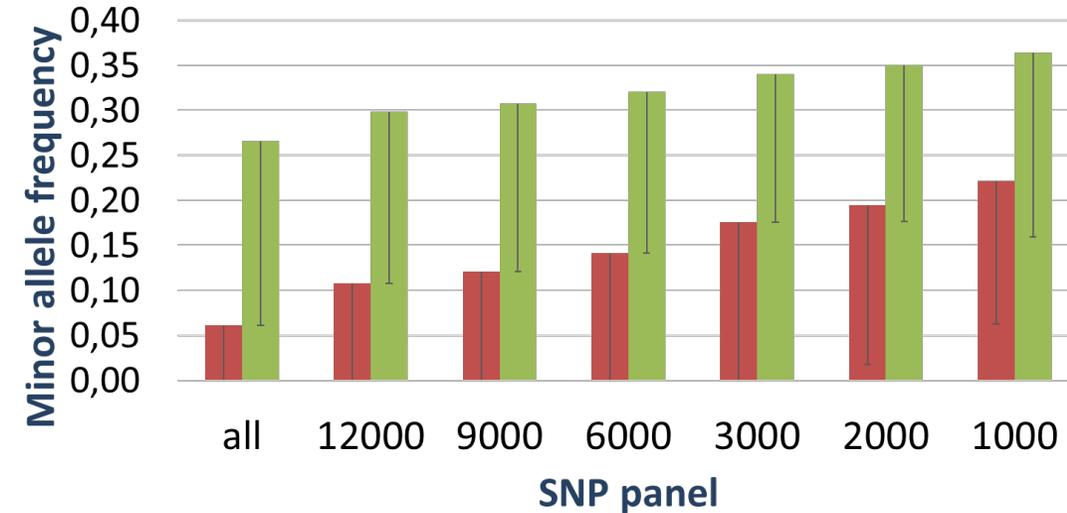
1. Proporcionar **recomendaciones internacionales** formales para el registro de fenotipos, genotipos y archivos de pedigrí internacionales .
2. Generar **evaluaciones genéticas y genómicas entre países** mediante la puesta en común de datos genómicos y la creación de nuevas poblaciones de referencia compartidas en ovino y caprino.
3. Crear una **iniciativa internacional** y preparar los procedimientos necesarios para facilitar, fomentar y motivar la cooperación en las evaluaciones internacionales en pequeños rumiantes.
4. **Estimar el coste-beneficio** de las evaluaciones genéticas/genómicas internacionales y de la cooperación.
5. Optimizar el uso de las **nuevas herramientas genómicas** para mejorar la gestión de los apareamientos, la diversidad genética y la mejora de poblaciones seleccionadas e infrautilizadas.

- Producción de herramientas moleculares (Chip SNPs: 1K, 2K, 3K, 6K, 9K, 12K)
- Acuerdos de intercambio de datos (fenotipos-genotipos) con formatos comunes (ICAR)
- Evaluación genética/ómica entre países
  - (Latxa-Manech)
  - (Texel: UK-Irlanda)
  - (Alpina/Saanen (IT-FR-CH-CA))
- Evaluación Coste-Beneficio

**Selection tools to benefit from international cooperation in small ruminants: a comprehensive work package of the SMARTER project**

*J.M. Astruc<sup>1</sup>, L. Brito<sup>2,3</sup>, B. Bapst<sup>4</sup>, G. Brun<sup>5</sup>, M. Burke<sup>6</sup>, G. Ciappesoni<sup>7</sup>, J. Conington<sup>8</sup>, C. Garcia-Baccino<sup>9</sup>, H. Larroque<sup>9</sup>, A. Legarra<sup>9</sup>, A. O'Brien<sup>10</sup>, J. Posta<sup>11</sup>, C. Robert-Granié<sup>9</sup>, M. Teissier<sup>9</sup>, E. Ugarte<sup>12</sup>, C. Moreno-Romieux<sup>9</sup>, D. Berry<sup>10</sup>*

Min and avg MAF across breeds

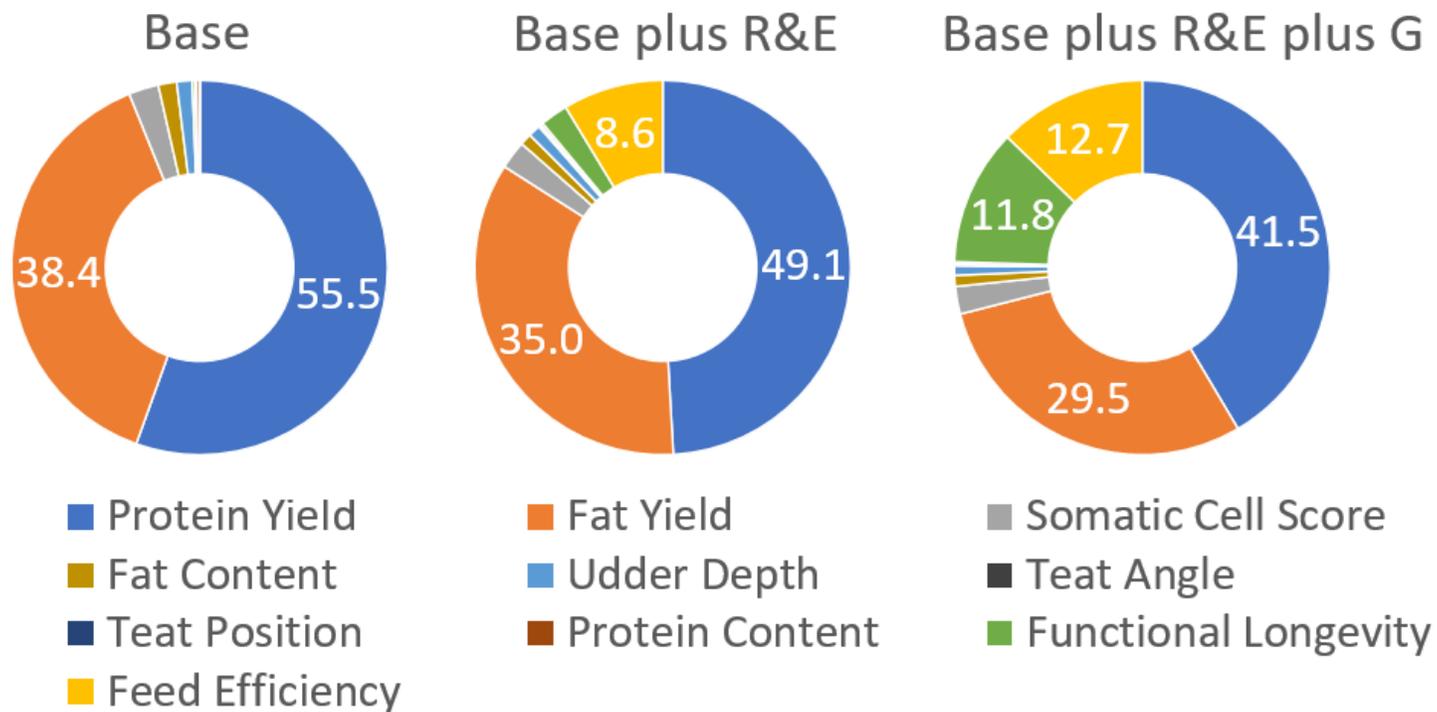


# WP7: Objetivos de selección equilibrados para eficiencia y resiliencia

# Resultados - escenarios

## Relative trait emphasis in the index

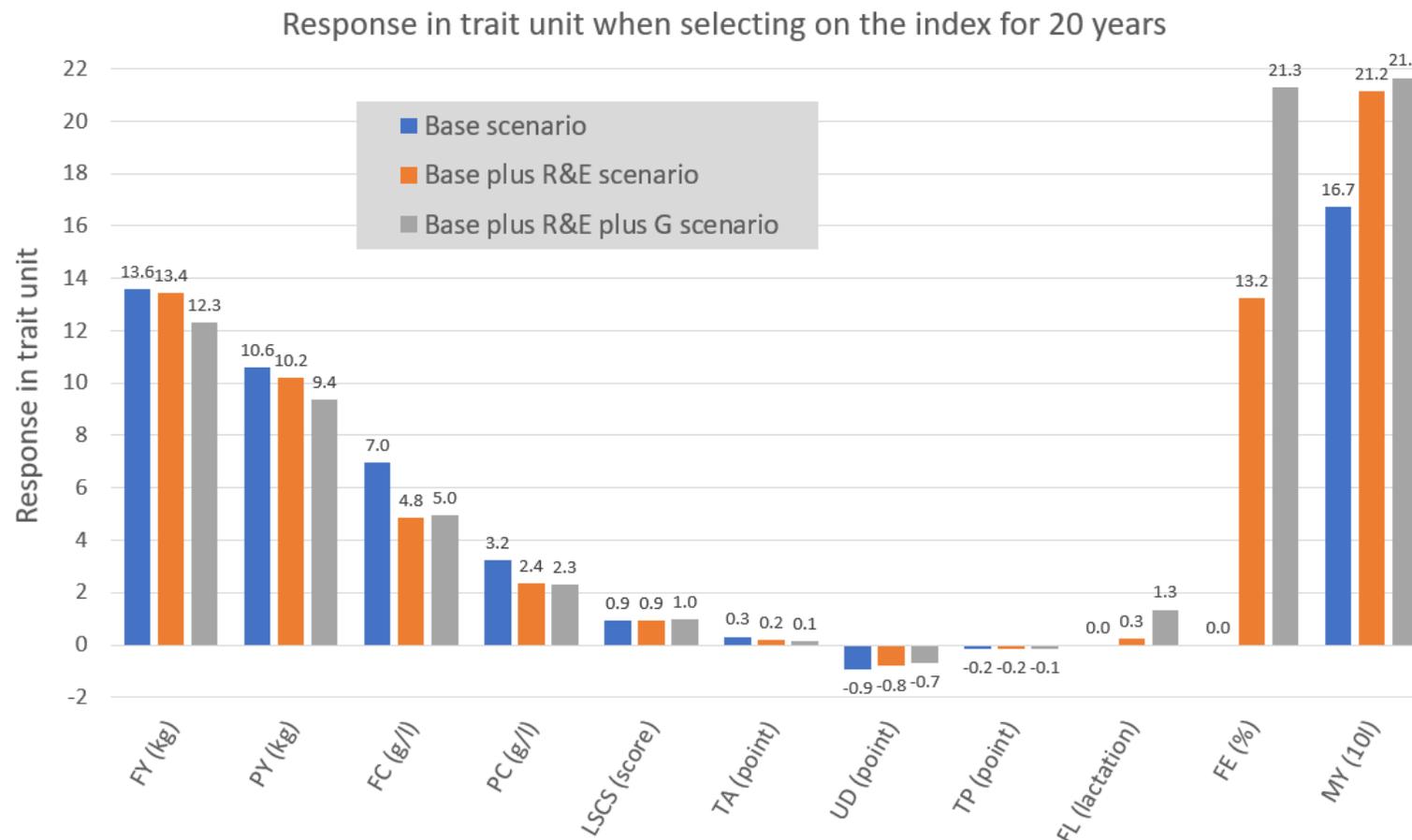
- Importancia razonable de los caracteres LF y FE cuando se añaden al índice.
- Reducción del énfasis de los caracteres del índice actual, más notable en PY y FY



# Results - escenarios

## Respuesta a largo plazo (20 años) a la selección en unidades de fenotipos

- La adición de FL y FE al índice produce respuestas:
- FL +0.3-1.3
- FE +13.2-21.3%
- FY -0.2-1.3kg
- PY -0.4-1.2kg
- FC -2.0-2.2g/l
- PC -0.8-0.9g/l
- MY +45-50 litros
- Respuesta no deseada a la selección para LSCS, TA, UD y TP



# Principales resultados

- Identificar, caracterizar fenotípica y genéticamente y comprender los nuevos caracteres relacionados con la **Eficiencia y la Resiliencia (R&E)**
- Mejorar y desarrollar nuevas técnicas de predicción genómica en pequeños rumiantes
- Establecer nuevas estrategias de cría y gestión que incluyan esos nuevos caracteres relacionados con la **Eficiencia y Resiliencia** en función de su importancia y relevancia para diversos sistemas, razas y entornos.



# SOCIOS SMARTER



*¡Muchas Gracias por su atención!*

[www.smarterproject.eu](http://www.smarterproject.eu)



Proyecto financiado por el programa Horizonte2020 de la Unión Europea (Número de contrato 772787)



Seminario **OVIGÉN**  
XXV Foro Nacional del Ovino

