

Aplicación del Modelo de una Explotación Ganadera Extensiva (MEGanE) para el estudio de la sensibilidad de la producción ganadera a la amplitud de la variabilidad de la oferta de forraje.

Francisco Dieguez-Cameroni¹, Rafael Terra²

¹ Instituto Plan Agropecuario. Br Artigas 3802 CP 11.700, Montevideo, Uruguay
fdieguez@planagropecuario.org.uy

² Facultad de Ingeniería, Universidad de la República. Julio Herrera y Reissig 565, Montevideo, 11.300, Uruguay.

Resumen. La ganadería pastoril es un sistema complejo, donde los modelos de simulación pueden ser útiles para la comprensión de las dinámicas de sus componentes y respuestas. Se realizaron simulaciones trimestrales con el MEGanE (modelo determinístico) introduciéndose un componente estocástico en el parámetro *coefClima*, factor que modula la cantidad máxima de forraje posible. Se generaron valores aleatorios del *coefClima* en seis escenarios de variabilidad, ampliando el Desvío estándar. Los resultados zootécnicos y fitotécnicos obtenidos muestran que al aumentar la amplitud de la variabilidad del *coefClima* aumenta la variabilidad en la respuesta del sistema y disminuyen los valores promedio. La asimetría del sistema es tal que los resultados en los casos “buenos” para la ganancia de peso de los animales no compensan a los “malos”. La inclusión del efecto de la variabilidad de parámetros climáticos parece ser un aspecto importante a considerar en el desarrollo de modelos y la realización simulaciones agronómicas.

Summary. Grazing livestock production is as a complex system where model simulations could be useful tools to enhance our comprehension of the dynamics of it components. Trimestral simulations with the deterministic model MEGanE where performed including a stochastic input. The *coefClima* parameter is a multiplicative factor modulating the maximum forage production. Random values of *coefClima* are generated to build scenarios of climate variability, amplifying it Standard deviation. Results show that an increase in the amplitude of the variability of *coefClima* increases the variability in agronomical outputs and causes a reduction in the average values. There is an asymmetric in which “good” cases cannot compensate for “bad” ones. The inclusion of the effect of variability on climatic parameters *per se* seems to be an important aspect on agronomical modeling to build production system scenarios.

Palabras clave. Modelo de simulación, MEGanE, ganadería extensiva, variabilidad climática

1 Introducción

La producción agropecuaria, particularmente la ganadería extensiva “a cielo abierto” puede visualizarse como un sistema complejo, en su sentido funcional, según la definición de von Bertalanffy [39] considerando las relaciones y regulaciones entre componentes. Asimismo, si se consideran otros factores en la gestión de los recursos, así como aspectos socioeconómicos, su complejidad se hace más evidente [38]. Pese a esto, existen algunas relaciones básicas entre los componentes de un sistema ganadero extensivo que pueden ser caracterizadas y modeladas, como es el crecimiento de la pastura, su consumo y la ganancia de peso animal resultante. En este sentido, la modelización participativa juega un rol central, incorporando el conocimiento de las partes interesadas en el proceso. Esta metodología enriquece el producto final permitiendo una construcción interdisciplinaria, favorece su validación y facilita su utilización, generado entornos de aprendizaje [14].

Por otra parte, los modelos realizados en forma participativa pueden servir como herramientas de ayuda a la toma de decisiones a nivel de explotaciones y realizar aportes a la investigación [35]. En este sentido el interés en la generación de escenarios mediante experimentos virtuales (experiencias *in silico*), es un aspecto central, especialmente en el contexto de los sistemas de apoyo a las decisiones [40]. Por otra parte, estas experiencias posibilitan la producción de resultados a los que de otra forma sería imposible arribar, o al menos presentan dificultades prácticas mayores como costos o aspectos éticos [37]. En el caso particular del análisis de decisiones frente a incertidumbre, los modelos de simulación pueden aportar en la caracterización de la variabilidad a enfrentar. Existen antecedentes directos a nivel nacional

de la utilización de modelos de simulación para facilitar la comunicación de efectos de las sequías en explotaciones ganaderas extensivas [2].

Asimismo los modelos sistemas ganaderos extensivos basados en pasturas (o pastizales) naturales deben incorporar señales climáticas debido a la alta dependencia de su productividad primaria y secundaria a parámetros meteorológicos, particularmente en contextos de suelos superficiales [5]. De acuerdo con Vetter [38], el efecto y la variabilidad en parámetros climáticos –como las precipitaciones- es tan importante y grande que los modelos de simulación son necesarios para explorar resultados de medidas de manejo como la dotación animal. Así es que sistemas de producción animal dependientes del clima, la variabilidad en la producción forrajera asociada al riesgo climático es un factor crítico y debe ser incorporada en la gestión de los recursos de las explotaciones.

La comprensión de la variabilidad surge entonces como un elemento central en producción ganadera extensiva, y los modelos de simulación -validados por los usuarios- pueden resultar una herramienta potente para su incorporación en la gestión de recursos y en la ayuda a la toma de decisiones.

2 Materiales y métodos

2.1 Modelo utilizado: el MEGanE.

En la realización del presente trabajo se utilizó el Modelo de una Explotación Ganadera Extensiva (MEGanE) en su versión actual. Más adelante se detallan algunas características que diferencian la versión publicada por Dieguez et al. [10] con la utilizada en este trabajo.

El MEGanE puede ser interpretado como un modelo de tipo “presa-predador” o Lotka-Volterra, con la pastura recurso o presa y los herbívoros como predadores de dicho recurso. Estos modelos generalmente se utilizan en el estudio de sistemas en simulaciones de largo plazo, cuando los mismos entran en fase (o en régimen) alcanzando un estado estable de equilibrio dinámico. Cabe aclarar que en nuestro caso, el interés está en las etapas iniciales, y el MEGanE en particular fue diseñado originalmente para simular períodos de tres meses (una estación), con un máximo de un año. El modelo conceptualmente funciona con una categoría de animales en un potrero (parcela), ya que fue diseñado para trabajar en la ayuda a la toma de decisiones en manejo estacional de los potreros. Este modelo fue utilizado en un proyecto del Instituto Plan Agropecuario, llamado Proyecto Integrando Conocimientos en su segunda edición (PIC2) [16] (en ejecución), el que pretende generar herramientas para la ayuda a la toma de decisiones, integrando el conocimiento de los productores ganaderos, técnicos y profesionales del sector, involucrando a los actores en su desarrollo.

El MEGanE se origina a partir de otro modelo participativo llamado *sequíaBasalto* el que tenía como objetivo servir como herramienta en la comunicación de los efectos de la sequía en la región del Basalto de Uruguay, donde se sitúa la ganadería extensiva, especialmente los sistemas criadores [2]. El MEGanE es el modelo físico-biológico de base, sobre el cual se aplican ciertos criterios de decisión correspondiente a dos estrategias de manejo del rodeo.

Actualmente, la interfaz del modelo MEGanE utilizada en actividades de extensión del Instituto Plan Agropecuario es una planilla electrónica que presenta como resultados principales la evolución trimestral de la Altura del pasto (AP) y del Peso vivo (PV) promedio de los animales, en función de la situación inicial establecida (ver Fig. 1) . Otros resultados específicos como eficiencia de cosecha, eficiencia de conversión, consumo animal y resultados de preñez son generados como *output* del funcionamiento del modelo.

Los *input* básicos necesarios para realizar simulación con el MEGanE son:

- “Ubicación” mediante una lista desplegable. Con este *input* se define el valor K de la curva logística de crecimiento de pasto (ecuación 2), a partir de información de producción de forraje brindada por el LART [17].
- “Superficie” del potrero (parcela) en hectáreas.
- “Trimestre a simular”, indicándose el mes inicial del trimestre.
- “Altura inicial del pasto” al comienzo del trimestre considerado, en centímetros.
- “Cantidad de ovinos” y “Cantidad de vacunos” presentes en el potrero considerado durante el trimestre seleccionado, en cabezas.
- “Peso inicial de vacunos” en kg, promedio de lote de animales, y “Categoría de vacunos” presentes en el potrero.
- “Coeficiente climático” (*coefClima*) descrito en la ecuación 2.

La Fig. 1 presenta una captura de pantalla de la planilla electrónica utilizada en el proyecto PIC2 del Instituto Plan Agropecuario.

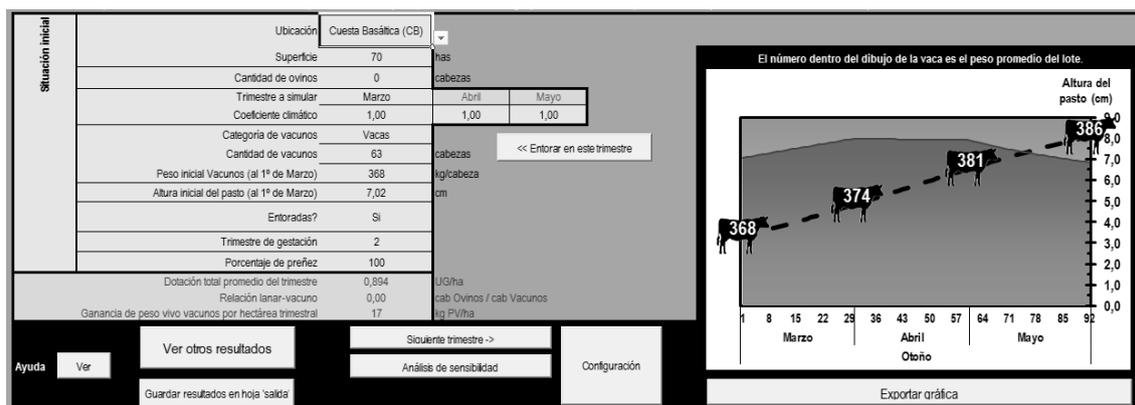


Fig 1. Captura de pantalla de la planilla electrónica que contiene el MEGanE, utilizada en el proyecto PIC2 (Instituto Plan Agropecuario).

La planilla electrónica conteniendo el MEGanE tiene la función de avanzar trimestralmente, registrando los resultados promedio de los parámetros zootécnicos y fitotécnicos calculados en cada paso de tiempo.

Algunos resultados de la experiencia del uso del modelo MEGanE en actividades de extensión en el PIC2 han sido publicados por Bartaburu y Cesar [3], Duarte [11] y Montes [22].

El MEGanE es en esencia un modelo matemático que puede ser descrito por el siguiente sistema de ecuaciones (1):

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = f_1(x, y) = \text{crecimiento del pasto} - \text{consumo individual} \times \text{dotación animal} \\ \frac{dy}{dt} = f_2(x, y) = \text{ganancia de peso diaria} \end{cases} \quad (1)$$

Dónde “x” corresponde a la AP e “y” a la PV de los animales que la pastorean. Se evidencia que el modelo es un sistema dinámico ya que ambos términos son interdependientes y co-evolucionan en el tiempo.

La variación diaria de la AP depende del saldo entre el crecimiento del pasto y su consumo diario. El crecimiento del pasto corresponde con una ecuación logística [28], de modo que el primer término de la ecuación del sistema dinámico (1) puede ser reformulada como (2):

$$\frac{dx}{dt} = rx \left(1 - \frac{x}{K \times \text{coefClima}} \right) - C_{x,y} \times \text{dotación animal} \quad (2)$$

Dónde: $C(x,y)$ es el consumo diario de pastura individual (cm · día).

r es la tasa de crecimiento de la función logística (día⁻¹).

K es la altura máxima o valor de saturación que puede alcanzar la pastura para un mes dado (cm).

coefClima es el “Coeficiente climático” que modifica K , siendo un factor multiplicativo del promedio histórico en la tasa de crecimiento o Producción primaria neta (PPN) de la pastura.

El valor de la AP máxima potencial de la pastura (K ; ecuación 2) para cada mes es estimado a partir de la información de la tasa de crecimiento promedio del pasto brindado por el Laboratorio Regional de Teledetección de la Universidad de Buenos Aires LART [17]. Para el presente trabajo se utilizaron datos promedio de la región del Basalto, correspondiendo a 37.662 ha relevadas por teledetección desde marzo del 2000 a la fecha.

Las funciones del consumo individual $C(x,y)$ (ecuación 2) y de ganancia diaria de peso (f_2 ; ecuación 1) están detalladas en Dieguez et al. [10]. Se presenta únicamente el detalle de la función del crecimiento de la pastura ya que el factor de variación explorado en este trabajo es el *coefClima*, como se detalla en la siguiente sección.

Cabe destacar que se trabajó con la altura de la pastura (en cm) como medida de estimación de la oferta de forraje disponible ya que el MEGanE fue diseñado como herramienta de ayuda a la toma de decisiones de productores ganaderos extensivos, donde se decidió que la comunicación de resultados es más sencilla que refiriendo a la producción de Materia seca por ha. Asimismo, se considera un tipo de pastura homogéneo en calidad y composición de especies, así como el tipo de animales.

La Fig. 2 presenta un diagrama del MEGanE indicando sus componentes principales y la interacción entre ellos.

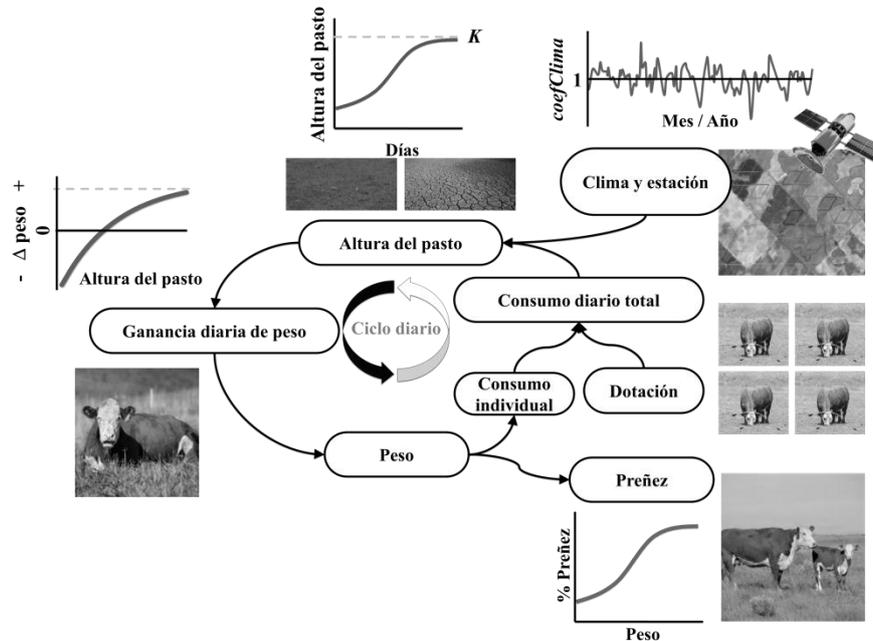


Fig. 2. Diagrama del modelo MEGanE.

La versión del MEGanE utilizada en este trabajo incluye un paso de tiempo mensual a diferencia del estacional utilizado en Dieguez et al. [10]. Esta diferencia permite comenzar las simulaciones en cualquier mes del año y realizar *input* mensuales del *coefClima* que representa el desvío del potencial del crecimiento de la pastura, como se explicará más adelante. Asimismo, se incorpora los ovinos y la posibilidad de realizar simulaciones a partir de datos de teledetección de crecimiento de pastura de otras regiones fuera del Basalto uruguayo.

2.2 Experimentos

Se realizaron experimentos *in silico* variando únicamente el *coefClima* del modelo, dejándose los otros *input* del modelo constantes de modo de representar un sistema productivo de la región basáltica del país (ver Fig. 3). Esta región es de especial interés pues es donde se encuentran mayormente los sistemas criadores extensivos, siendo susceptible a condiciones climáticas extremas como la sequía, debido a la mayor proporción de suelos superficiales [4], [9]. Se realizaron simulaciones con una dotación de 0.8 Unidades Ganaderas (UG) por hectárea ($UG \cdot ha^{-1}$), considerada como adecuada para un sistema representativo de esa región [29]. Se consideró una AP inicial arbitraria de 5 cm. Esta altura equivale a la disponibilidad de forraje de mantenimiento de peso. En esta situación de altura de pasto, si el valor de K mensual (ver ecuación 2) es superior a dicha altura existirá crecimiento de pasto, el cual será consumido resultando en un saldo diario superior o inferior a la altura inicial, dependiendo de la carga animal.

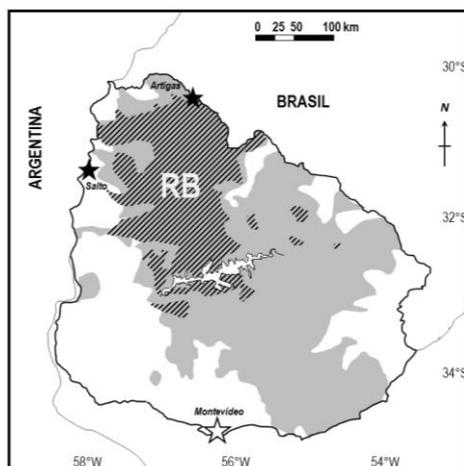


Fig 3. Mapa indicando ubicación de la Región Basáltica (RB: en área rayada). El área gris representa la ubicación de sistemas ganaderos extensivos (adaptado de DIEA [9]).

El trimestre considerado en las simulaciones (marzo-abril-mayo) es de interés debido a que en sistemas criadores extensivos sobre pastizales (o campo natural) es de esperar una nula o muy baja recuperación de peso invernal, por lo que pueden suceder pérdidas importantes en la condición corporal. La posibilidad de recuperar estado en los meses cálidos es mayor, pero condicionada por el estado al fin del invierno. En este período del año los pastizales naturales –generalmente estivales– comienzan su latencia invernal. Una adaptación a la estacionalidad de producción de pastura es la recomendación de prácticas de manejo (tecnologías de procesos) tales como el destete en otoño, con la consiguiente estacionalidad del entore en verano [32].

Cabe destacar que se realizaron únicamente simulaciones trimestrales ya que el modelo fue concebido para operar conceptualmente con “un potrero, una categoría y un trimestre”, como fue mencionado anteriormente, es decir que su rango de validez es a escala de lote (o parcela, o potrero) para una única categoría y una estación. La categoría de animales de las simulaciones corresponde a vacas de cría de 380 kg de PV, correspondiente a una UG.

Las variables de respuestas analizadas fueron la Variación diaria de peso promedio trimestral (VDP) y la AP promedio del trimestre. Para calcular la VDP se registra el Peso vivo final (PVF) de los animales en cada simulación. La diferencia entre el PVF con el PV inicial dividida entre los 92 días del período simulado, devuelve el valor de VDP. La AP promedio es la media aritmética de la AP a lo largo del trimestre simulado, promediando los 92 valores diarios registrados de esta variable. Cabe destacar que el MEGanE posee más de veinte resultados zootécnicos, fitotécnicos y de interacción de componentes (como por ejemplo la eficiencia de cosecha) pero se priorizó para este trabajo una de las principales variables de interés en ganadería.

En síntesis, los experimentos realizados corresponden a un análisis de sensibilidad de las variables dependientes VDP y AP promedio en función de la amplitud de la variabilidad en la oferta de forraje (a través del parámetro *coefclima*). Se detalla a continuación el mecanismo utilizado para el análisis de sensibilidad.

Representación de la variabilidad en la oferta de forraje.

El MEGanE fue concebido inicialmente como un modelo determinístico, por lo que inicialmente no contempla variabilidad en sus *input* o parámetros. Si bien este enfoque tiene sus limitantes en la práctica resultó recomendable por su sencillez conceptual. Pese a lo antedicho, como el MEGanE es un modelo matemático, resulta fácil introducir variabilidad en los *input*, en la medida que se pueda trabajar con una plataforma o software que contemple funciones de variabilidad con una distribución en particular.

Para generar variación en la oferta de forraje se utilizó una planilla de cálculo conteniendo el MEGanE, realizando rutinas de bucles anidados con programación en Visual Basic para aplicaciones. Se realizaron dos bucles simultáneos. En uno se define la amplitud de la distribución de la oferta de forraje, mediante la asignación de un Desvío estándar (DE) dentro de un rango de 0.5 a 3 cada 0.5 ($n=6$), siendo el DE el parámetro que gobierna la amplitud de la variabilidad sobre el cual se basará el análisis de sensibilidad, como se explica más adelante. El segundo bucle -dentro del anterior- define el número total

de repeticiones de las simulaciones realizadas (n=250). La rutina puede ser descrita en forma genérica mediante el siguiente pseudocódigo:

```

Bucle_1_DE: i = 0.5 a 3 cada 0.5
  Bucle_2_repeticiones: j = 1 a 250 cada 1
    Se calcula el coefClimaij
    Se calculan y guardan resultados estadísticos de APij, PVFij y VDPij
  Fin: Bucle_2_repeticiones
Fin: Bucle_1_DE

```

Se obtienen entonces 250 repeticiones con los mismos *input* iniciales (ver sección 2.1 Modelo utilizado: el MEGanE) salvo el *coefClima* que es generado en forma aleatoria, con 6 niveles de amplitud en el DE (0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 y 3.0).

Para obtener series simuladas de valores de *coefClima* para el trimestre se seleccionó una metodología que conserve la distribución del parámetro en cada mes, sea capaz de regular la amplitud de la variabilidad y tome en cuenta las correlaciones entre los valores de cada mes dentro de una realización particular. Para ello se simula inicialmente series con distribución normal con media 0 y un DE dado. Primero se sortea un número aleatorio con distribución normal con media 0 y DE que representa el mes de marzo. Para obtener los valores de los siguientes meses del trimestre (abril y mayo) se usa:

$$mes_{i+1} = a_i \cdot mes_i + b_i \cdot \mu \quad (3)$$

Donde a_i es la correlación entre los *coefClima* de los meses involucrados, b_i es tal que $a_i^2 + b_i^2 = 1$ y μ es también un número aleatorio de distribución normal con media 0 y desviación estándar DE [8], lo cual garantiza que mes_{i+1} también es normal de media 0 y DE y que la correlación entre mes_{i+1} y mes_i es igual a la histórica entre los *coefClima* de dichos meses.

Por último, para cada mes de cada trimestre simulado en espacio normal (media 0 y DE), se obtiene el percentil asociado a una normal de media 0 y DE=1 y luego el valor histórico de *coefClima* en dicho mes que comparte ese percentil (*quantile matching*; [25]) obteniendo así las simulaciones de *coefClima*.

Se realizaron entonces seis escenarios de DE, que van desde DE=0.5 (el que se referencia como “DEcc0.5”) a DE=3.0 (llamado “DEcc3.0”) en intervalos de a 0.5, como fue mencionado anteriormente. En particular el escenario “DEcc1.0” será utilizado como referencia para contrastar efectos de la variabilidad en los principales resultados de las simulaciones.

Una vez obtenido el valor del *coefClima* para cada mes se realizaron simulaciones trimestrales con MEGanE con las situaciones iniciales descritas en el punto anterior (2.2 Experimentos). Se repitió el proceso doscientas cincuenta veces (n=250), registrándose entonces los n valores de PVF de cada realización, calculándose las VDP correspondientes. Se registró también en cada simulación el PV diario para analizar su evolución trimestral.

La Fig. 4 muestra la frecuencia de distribuciones de dicho parámetro de la serie histórica marzo 2000 a diciembre 2013 para los tres meses del trimestre considerado, para 21 explotaciones de la región Basáltica del Uruguay (37.662 has).

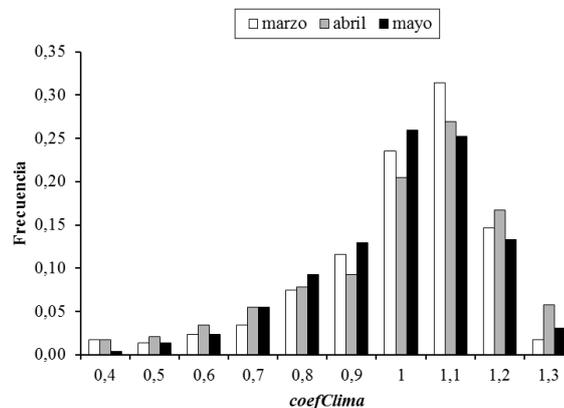


Fig. 4. Distribución del *coefClima* promedio de la serie de datos de la cuesta basáltica para el trimestre marzo-abril-mayo.

En la Fig. 4 se observa que la distribución de los *coefClima* del trimestre considerado es unimodal. Como forma de caracterizar los datos de las explotaciones monitoreadas en la región basáltica, el promedio de *coefClima* para la serie marzo/2003 a diciembre/2012 en el trimestre considerado es de 1.000 para todos los meses, con un DE de 0.181, 0.202 y 0.170 para marzo, abril y mayo, respectivamente. Como datos complementarios, el promedio de tasa de crecimiento de la materia seca y su DE son 12.11 ± 2.34 , 8.96 ± 1.89 y 6.45 ± 1.16 kg MS· ha⁻¹· día para marzo, abril y mayo, respectivamente.

3 Resultados

La Fig. 5 presenta los resultados de los *coefClima* trimestrales generados según el método explicado en el punto anterior.

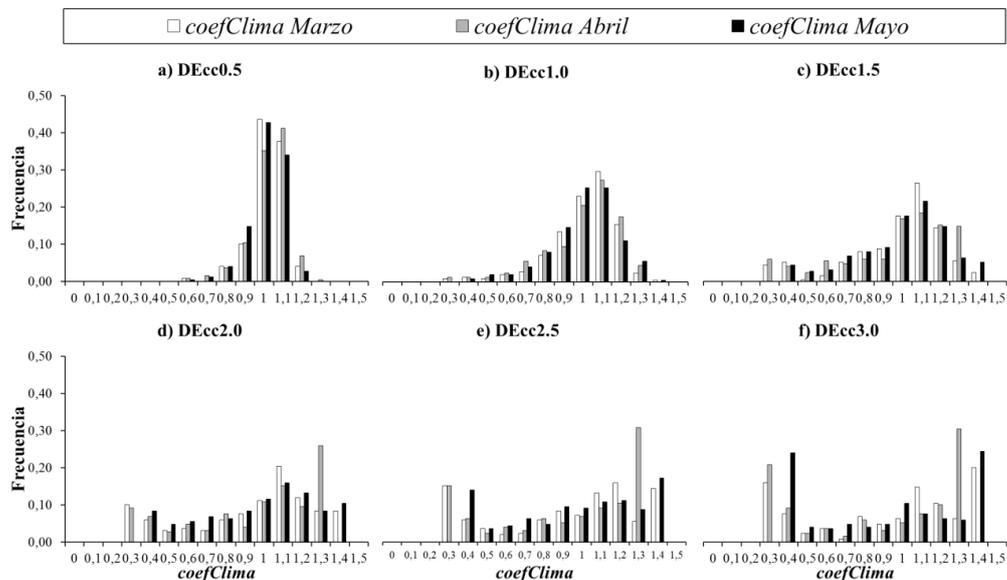


Fig. 5. Frecuencia de ocurrencia del *coefClima* según diferentes escenarios aleatorios generados en las $n = 250$ repeticiones, para los seis niveles de amplitud de la variabilidad del DE considerados (Figs. a - f).

Como se aprecia en la Fig. 5, y como es de esperar, a medida que aumenta el DE en cada escenario aumenta la amplitud de la variabilidad en los resultados. Asimismo se aprecia que aumenta la ocurrencia de eventos extremos con el aumento del DE, mayormente en simulaciones con $DE > 2$ (DEcc2.0 a DEcc3.0). Lo anterior es consistente con el aumento del coeficiente de curtosis de las distribuciones. También se aprecia una asimetría en las mismas, con coeficiente de asimetría negativo. Asociado a dicha asimetría, el mecanismo de generación de *coefClima* propuesto no mantiene la media que se reduce levemente al aumentar DE. La tabla 1 resumen todos los estadísticos mencionados para cada mes y valor de DE.

Tabla 1. Medias, Coeficiente de Asimetría (C. de A.) y Curtosis para los resultados del *coefClima* de cada mes del trimestre simulado.

Escenario	<i>coefClima</i> Marzo				<i>coefClima</i> Abril				<i>coefClima</i> Mayo			
	Media	DE	C. de A.	Curtosis	Media	DE	C. de A.	Curtosis	Media	DE	C. de A.	Curtosis
DEcc0.5	1,02	0,09	-1,13	2,87	1,03	0,10	-1,34	2,89	1,02	0,09	-1,02	1,60
DEcc1.0	1,01	0,18	-1,21	2,15	1,00	0,20	-1,21	1,50	1,01	0,18	-0,88	1,26
DEcc1.5	0,97	0,26	-1,05	0,48	0,96	0,29	-0,92	-0,21	0,99	0,24	-0,72	0,07
DEcc2.0	0,94	0,33	-0,61	-0,85	0,94	0,34	-0,70	-0,88	0,97	0,30	-0,45	-0,84
DEcc2.5	0,93	0,36	-0,49	-1,20	0,93	0,38	-0,55	-1,22	0,98	0,34	-0,41	-1,10
DEcc3.0	0,93	0,38	-0,44	-1,33	0,87	0,41	-0,31	-1,59	0,93	0,39	-0,19	-1,51

La Fig. 6 presenta los resultados de la mediana, percentil 90 y 10, el máximo y mínimo valor del peso vivo de los animales, en su evolución trimestral, para los seis escenarios de DE del *coefClima* considerados. La Fig. 6 presenta los mismos parámetros estadísticos del resultado de la evolución de la AP. Cabe recordar que los parámetros estadísticos aquí mencionados se generan a partir de $n = 250$ repeticiones por cada nivel de DE y, por otro lado, que el día 1 de la simulación corresponde al primero de marzo.

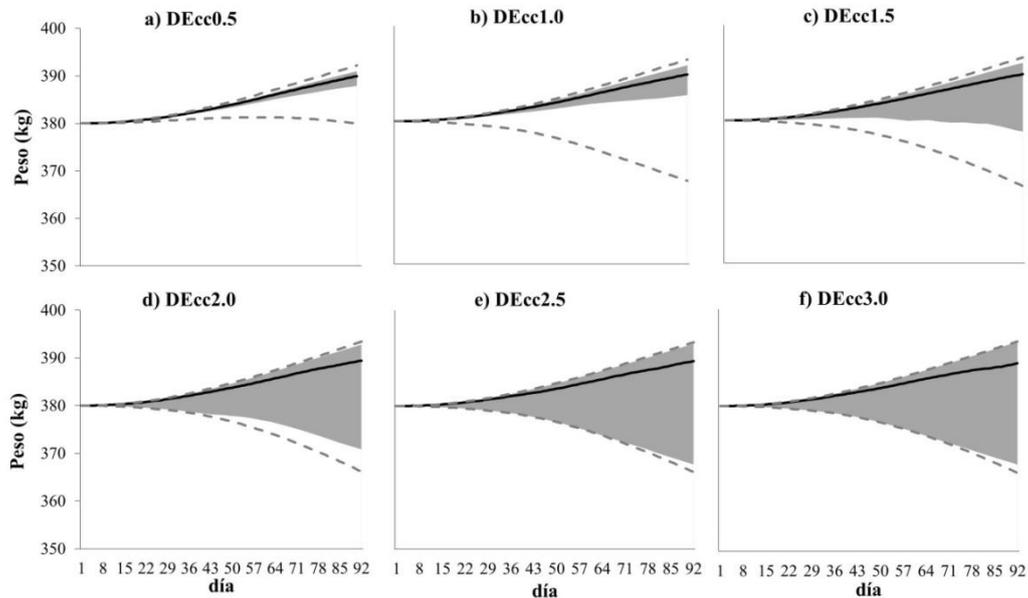


Fig. 6. Evolución del PV de los animales (en kg) en la simulación trimestral considerando los seis niveles de amplitud de la variabilidad asumidos (Figs. a - f). La línea sólida indica la mediana, el límite superior e inferior del área sombreada al percentil 90 y 10, respectivamente, y las líneas punteadas superior e inferior indican el máximo y mínimo resultado, respectivamente.

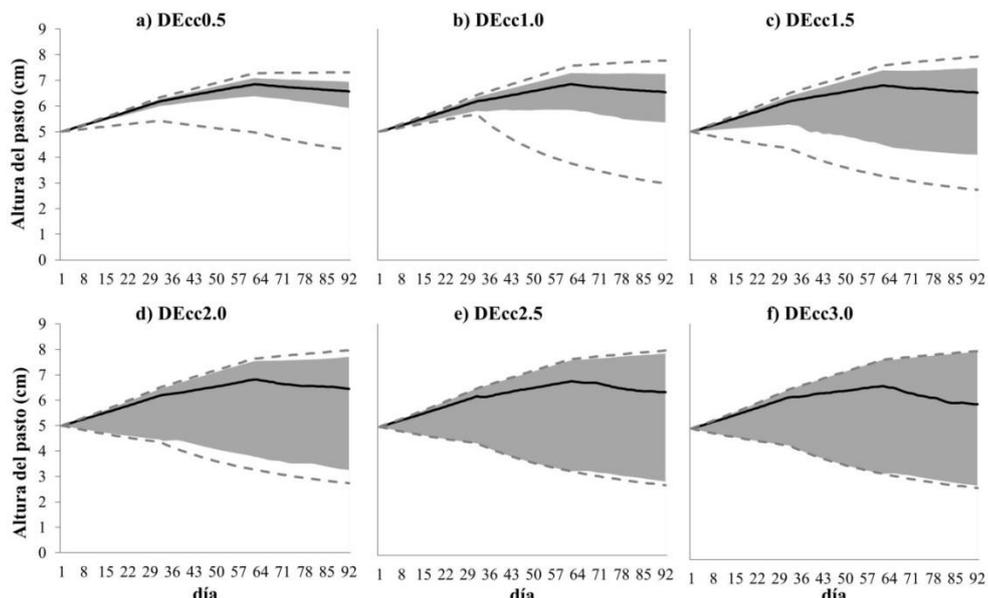


Fig. 7. Evolución de la AP (en cm) en la simulación trimestral considerando los seis niveles de amplitud de la variabilidad asumidos (Figs. a - f). La línea sólida indica la mediana, el límite superior e inferior del área sombreada al percentil 90 y 10, respectivamente, y las líneas punteadas superior e inferior indican el máximo y mínimo resultado, respectivamente.

Como se observa en las Fig. 6 y 7, la amplitud de la evolución del PV y AP reflejan directamente la amplitud en los escenarios del DE. Se observa que en escenarios de $DE > 2$ (DEcc2.0 a DEcc3.0) los valores del percentil 90 y 10 se aproximan a los valores máximos y mínimos de la serie trimestral.

Al igual que las observaciones realizadas para los coeficientes de asimetría del *coefClima* (tabla 1), los resultados para todos los casos son negativos (datos no presentados) tanto para la evolución del PV como para la AP.

La tabla 2 presenta los valores de *coefClima* y los resultados de la VDP y la AP relativos a la simulación de variación normal (DEcc1.0). Se indica entre paréntesis, en los resultados de ese escenario, los valores absolutos de los resultados para las dos principales variables consideradas.

Tabla 2: Promedios trimestrales de valores relativos de *coefClima* y resultados relativos de la AP y VDP con respecto al escenario de con variabilidad DE = 1. El número entre paréntesis indica el valor absoluto de cada resultado para el escenario de referencia DEcc1.0. Para AP y VDP, los valores con diferente letra en el subíndice indican diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$).

Escenario	<i>coefClima</i> relativo	AP relativa	VDP relativa
DEcc0.5	102% ^a	101% ^a	109% ^a
DEcc1.0	100% ^{ab} (1.00)	100% ^{ab} (6,12 cm)	100% ^{ab} (0,097 kg/d)
DEcc1.5	96% ^{abc}	97% ^{bc}	82% ^{bc}
DEcc2.0	93% ^{bc}	95% ^{cd}	67% ^{cd}
DEcc2.5	92% ^c	94% ^d	56% ^{de}
DEcc3.0	92% ^c	92% ^d	43% ^e

Como se observa en la tabla 2, el aumento en la variabilidad del DE redundaba en una disminución de los promedios trimestrales de ambos resultados. Si bien existen diferencias significativas entre escenarios ya en *coefClima* y en AP (con amplitud semejante) el impacto relativo del aumento de la variabilidad sobre la VDP es sustancialmente mayor evidenciando la no linealidad de la respuesta.

4 Discusión

El presente trabajo intenta estudiar el efecto de la variabilidad de un parámetro asociado con el clima en un sistema dinámico originalmente determinístico. De acuerdo con Vetter (2005), los modelos de “equilibrio” son aquellos en que el centro de atención es la relación entre los herbívoros y la pastura, mientras que los modelos de “no equilibrio” los elementos abióticos estocásticos son los principales factores de cambio (*drivers*) en las dinámicas del ganado y la pastura. En nuestro caso, mediante los experimentos realizados, pretendemos evidenciar el efecto de la amplitud de la variabilidad de un parámetro en el sistema. De acuerdo con Parsons et al. [26] la virtud de cambiar solo un *input* de un modelo –el clima en particular- permite aislar el efecto de esa variable. Asimismo, en la misma línea que los autores antes mencionados (*Op. cit*) este tipo de análisis es clásico en el método científico y sus resultados deben ser visualizados como estudios numéricos de algunos *output* del modelo y no como una previsión del futuro.

Por otra parte, las magnitudes de los resultados zootécnicos y fitotécnicos obtenidos (como son la VDP y la AP, respectivamente) no tienen carácter predictivo en sí mismos ya que, como es ampliamente demostrado en resultados históricos de modelos teóricos de sistemas ganaderos en pastoreo [23], la carga animal o la disponibilidad inicial del forraje, condiciona ampliamente los resultados finales. Los resultados aquí presentados responden a una situación dada (por ejemplo la AP inicial o la dotación fueron arbitrariamente definidas) y es de esperar que el modelo presente algún grado de sensibilidad antes su variación. Por ello, las simulaciones aquí realizadas se focalizan en variar la amplitud del *input* que modifica el valor *K* (máxima AP logable) de la curva logística del crecimiento del pasto (parámetro llamado *coefClima*) conformando un análisis *ceteris paribus*, es decir con todo lo demás constante.

Este tipo de análisis puede resultar –en primera instancia- artificial o superfluo, sin embargo el principal fundamento es que en los escenarios climáticos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés) se plantean tres posibles situaciones: el cambio de los promedios de las variables climatológicas, el cambio en su amplitud, o ambos procesos simultáneamente [12].

Así es que el efecto de los cambios en los promedios de las variables climáticas puede ser más o menos evidente en la producción agropecuaria. Por ejemplo, si se considera una disminución en las precipitaciones es de esperar una reducción en la productividad de sistemas agropecuarios [30]. Otro

ejemplo –de causalidad menos lineal que el anterior- citado por Badolo y Kinda [1] es el aumento del promedio de la temperatura y los cambios en la distribución de las precipitaciones que pueden afectar negativamente la productividad, e incidir negativamente en los ingresos de los productores y la seguridad alimentaria y, en escala macro, a toda la economía de los países que dependen de la producción “a cielo abierto”.

Por otra parte, se debe prestar mayor atención en el razonamiento de las consecuencias de los impactos ambientales –y por ende se requiere una mayor comprensión de los sistemas- si nos concentramos en cómo afecta al resultado una variación en la amplitud de la variabilidad climática. De acuerdo con Reilly [30] la investigación en relación con los posibles cambios en la productividad agrícola como consecuencia del cambio climático se ha centrado en el impacto de los cambios en los promedios climáticos a largo plazo, con la suposición de que la variabilidad climática será la misma que en el clima actual. Los cambios en la variabilidad del clima, sin embargo, pueden afectar a la frecuencia de los extremos y podrían tener un impacto importante en el rendimiento de los cultivos.

Para el Uruguay en particular, de acuerdo con Bidegain et al. [6], los principales cambios que hipotéticamente pueden suceder son: un incremento en la ocurrencia de eventos climáticos extremos; el aumento de las temperaturas medias, una significativa variación en la distribución intra-anual e inter-anual de las precipitaciones, y cambios en el régimen de heladas. Estos cambios pueden afectar al sector agropecuario en diferentes maneras, tales como: una creciente variación en la producción de cultivos y pasturas; cambios en la distribución anual de la producción y dinámica poblacional de pasturas naturales; cambios en las dinámicas y las proporciones en las poblaciones de flora y fauna en los montes autóctonos; una creciente incidencia de pestes y plagas en la producción agropecuaria; una mayor fluctuación del régimen de caudales y de los volúmenes de agua represada afectando la disponibilidad del recurso para el consumo animal y riego; mayores riesgos de erosión de suelos y de contaminación de aguas, y mayor riesgo de incendios forestales (*Op. cit.*).

Debido a la complejidad de las relaciones entre componentes, ya sea en aspectos parciales o globales, los modelos de simulación pueden ser una herramienta útil para comprender los impactos de la variación en los componentes de los sistemas, sobre todo en aspectos climáticos [38].

Existen varias referencias de modelos realizados para simular sistemas de producción agropecuaria, desarrollados para incluir escenarios de variabilidad climática en condiciones locales específicas. Algunos ejemplos son: el modelo australiano *GRASP* [19], [32] el modelo *PHEWS* aplicado en situaciones de pastoralismo en África del Este [13], el modelo *SEF* desarrollado para la región del Sahel [27], o la aplicación de un conjunto de modelos neozelandeses trabajados como módulos concatenados *AgPAsture* – *APSIM* – *FARMAX* – *OVERSEER* [18]. Asimismo, otro ejemplo trabajo modular con varios modelos en escenarios de variabilidad climática del IPCC, Parsons et al. [26] realizaron simulaciones integrando un “generador climático” (*EPIC*) con modelo de crecimiento de pasturas (*SWARD*) en el modelo agregado llamado *ECCLIPS* simulando explotaciones de tres regiones del Reino Unido. Además, cabe mencionar el uso de otros modelos como el *CERES* [21] o *WOFOST* [7] que son más generales, en el sentido que pueden ser utilizados en diferentes contextos productivos siempre que exista la información local requerida para su funcionamiento, ya que son modelos de respuesta fisiológicas de cultivos.

Como característica común de los trabajos mencionados en el párrafo anterior es que en la mayoría de ellos hacen foco en mecanismos de adaptación al cambio y la variabilidad climática –o capacidad adaptativa, bajo el paradigma de la sustentabilidad y vulnerabilidad de los sistemas productivos [6]. En este sentido, cabe mencionar que para sistemas ganaderos con animales en pastoreo la recomendación general es mantener una dotación animal conservadora –ajustada o adecuada- lo que implica el manejo adaptativo de los recursos, de modo de amortiguar las posibles pérdidas en momentos de sequía [26], [29].

Por otra parte, el cambio y la variabilidad climática son normalmente tratados como un binomio indivisible. Tal es el grado de asociación entre el cambio y la variabilidad climática que incluso se mencionan sistemáticamente como un solo concepto. Sin embargo es de interés intentar separar –como se mencionó anteriormente- los efectos en los sistemas producidos por la variación en los promedios de parámetros o *input* de un sistema, del efecto debido a la variación de la amplitud.

Con respecto al efecto de la variabilidad *per se* en parámetros climáticos existen algunas referencias sobre su impacto en la productividad de sistemas agropecuarios. Por ejemplo Riha et al. [31] utilizando modelos de simulación para cultivos de soja y maíz en Estados Unidos encontraron que al incrementar la variabilidad de las precipitaciones (pero manteniendo los promedios constantes) se reduce sustancialmente el rendimiento promedio de dichos cultivos. De la misma forma, Badolo y Kinda [1] desarrollaron un modelo lineal que incluye la variabilidad climática como el desvío estándar de la precipitación, concluyendo que el aumento en la amplitud de este parámetro reduce la producción agrícola y en consecuencia el ingreso de los productores, afectando así a otras variables

macroeconómicas. De acuerdo con la revisión de Thornton et al. [36], los cambios en las frecuencias y severidad de eventos climáticos extremos pueden tener consecuencias significativas en la producción de alimentos producidos a cielo abierto. Asimismo existe una visión general que cuando se deben enfrentar estas situaciones las respuestas en el crecimiento animal y en la pastura son complejas y los cambios en las varianzas de los parámetros de los sistemas pueden producir cambios en los promedios.

En investigaciones de producción animal son pocas las referencias al efecto de la variabilidad *per se* de parámetros climáticos sobre los resultados zootécnicos. McKeon et al. [20] realizando utilizando el modelo *GRASP* en Australia encontraron una relación inversa entre la capacidad de carga de los sistemas ganaderos y la variabilidad en parámetros climáticos (precipitación, temperatura y concentración de CO₂) que la determinan, según el modelo utilizado.

Como forma de explicar los resultados de la reducción en la producción de sistemas agropecuarios, según Badolo y Kinda [1] las variaciones en los promedios de productividad como respuesta al aumento en la variabilidad en parámetros climáticas (particularmente la precipitación) se deba a una respuesta asimétrica, donde las pérdidas debidas a las deficiencias hídricas no son perfectamente compensadas a las ganancias producidas en momentos de balances hídricos positivos. Similares conclusiones son planteadas por Nelson y Kokic [24] utilizando el modelo *AgFirm* en Australia analizando el Índice de oscilaciones sur de El Niño. De acuerdo con Reilly et al. [30], la mayor limitante de nuestro entendimiento en los impactos de la variabilidad en agricultura es nuestra limitada habilidad en predecir cómo ésta cambiará. Asimismo, según los mismos autores (*Op. cit*) se deben aumentar los esfuerzos en incorporar la información actual de los cambios en la variabilidad y su impacto en la agricultura.

Los modelos de simulación resultan ser una poderosa herramienta para comprender las relaciones en sistemas complejos, sobre todo ante la necesidad de realizar escenarios predictivos en un futuro incierto [41]. En este sentido, los modelos desarrollados en forma participativa con actores interesados (*stakeholders*) aportan al concepto de *resiliencia participativa* (*Op. cit*) y a la capacidad de adaptación de los ganaderos familiares [3]. Asimismo, en la construcción de una *plataforma de innovación* mediante un marco de aprendizaje colectivo se debe incluir, en sus primeras etapas, la identificación y modelización de factores relevantes, para analizar posibles escenarios futuros [42]. En este marco, la posibilidad de trabajar “en vivo” con modelos de simulación es crucial, contestando preguntas con la premisa “¿qué tal si...?” (*what if...?*), al evaluar las consecuencias de cambios en los parámetros de los modelos utilizados.

Como ejemplo de lo anterior, particularmente con el MEGanE utilizado en actividades de extensión, Montes [22] plantea que el hecho de contar con un modelo de simulación permite realizar escenarios futuros a partir de una situación actual concreta, y poder visualizar los posibles efectos de la variación de parámetros iniciales (tales como la carga animal) dando insumos para el intercambio de opiniones de los participantes. Este modelo tiene la ventaja de presentar una interfaz diseñada especialmente para trabajar con productores, donde los resultados de AP y PV de los animales se observan en pantalla, y cualquier cambio en los *input* resulta en un re-cálculo automático de los resultados. Asimismo, como fue comentado en la sección 2.1, los resultados eficiencia de cosecha, eficiencia de conversión, consumo animal y preñez son *output* del modelo, a diferencia de otros modelos, emulando lo que ocurre en los sistemas biológicos. Como desventajas del MEGanE, pero vistas como una oportunidad de mejora, Bartaburu y César [3] proponen que debe mejorarse el componente pastura, incluyendo la relación entre la misma y la calidad del forraje. Asimismo, en el período de recría bovina el modelo parece subestimar la ganancia de peso en animales en crecimiento (Montes, com. pers.). En su versión actual, el MEGanE no cuenta con la modelización de prácticas corriente en ganadería extensiva como el manejo del destete de los terneros (temporario, precoz...) o la suplementación con otro tipo de alimentos.

Cabe mencionar que en la actualidad, a partir de un convenio con el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP, Uruguay) proyecto Ganaderos Familiares y Cambio Climático - GFCC [14], se está diseñando una versión del modelo que incluya las prácticas de manejo antes mencionadas, y que permita realizar simulaciones *online*. Asimismo se prevén acciones para realizar simulaciones con una versión del MEGanE en la plataforma del Sistema Nacional de Información Agropecuaria –SNIA [33], del Ministerio antes mencionado.

Finalmente, y como innovación en el desarrollo del MEGanE, se plantea con el presente trabajo la incorporación de un componente estocástico en los escenarios de crecimiento de pastura en un modelo originalmente determinístico. Esto abre las posibilidades para desarrollar escenarios de tipo probabilístico con dicho modelo.

6 Conclusiones

En el presente trabajo se incluyó en un sistema dinámico determinístico de herbivoría (de tipo *presa-predador*) un factor estocástico que regula la amplitud de la variabilidad del recurso (la pastura). Dicho factor –el *coefClima*– fue modulado en la amplitud de su variabilidad generando diferentes escenarios, cuyo impacto en la dinámica de las poblaciones fue analizado mediante dos resultados de interés agronómico: la VDP y la AP. La primera conclusión que podemos extraer es la posibilidad de incluir un *coefClima* aleatorio, siguiendo la tendencia observada a partir de datos reales, obtenidos del procesamiento de datos de teledetección. Asimismo, se destaca la utilidad de los modelos de simulación para modelar escenarios y como herramienta de ayuda a la comprensión de los sistemas complejos, como la relación pasto-animal.

Del resultado de las simulaciones en diferentes escenarios de variabilidad del *coefClima* se puede concluir que al aumentar su amplitud el efecto sobre los resultados considerados (VDP y AP) es el lógico aumento en su amplitud; pero además reducen los promedios de dichos resultados, muy especialmente el de VDP. Con el aumento de la amplitud de la variabilidad de un *input* del sistema se observa un aumento en la frecuencia de los casos extremos. Es de esperar que en comportamientos asintóticos (como los modelados en general en procesos biológicos, como la evolución del peso de los animales o la cantidad de forraje que se puede acumular en un potrero cerrado) exista un techo o cantidad máxima logable, como ocurre con un principio básico agronómico: la ley del rendimiento decreciente.

La asimetría en las respuestas a la variabilidad limita las posibilidades de compensar las situaciones desfavorables en que se obtienen pobres resultados de VDP con los momentos donde las condiciones son propicias para altos valores de VDP. El sesgo observado en los resultados de VDP respalda este razonamiento. En el caso particular de la ganadería extensiva, la recomendación de trabajar con cargas conservadoras resulta totalmente válida en este contexto.

Más allá de los resultados zootécnicos y fitotécnicos obtenidos en las simulaciones realizadas con el MEGanE, destacamos la posibilidad de introducir un factor de variabilidad aleatorio en la producción de forraje, lo que posibilita la realización de escenarios con variables probabilísticas. Este hecho es novedoso para el desarrollo del modelo utilizado, sentando un precedente importante en la mejora de dicho producto. El modelo, por su simplicidad, parece ser adecuado para trabajos de extensión con ganaderos familiares, donde se está colaborando en dos proyectos con el MGAP para su desarrollo y aplicación.

Bibliografía

1. Badolo, F., Kinda, S.: Climatic Variability and Food Security in Developing Countries Etudes et Documents n° 05, CERDI, Université d' Auvergne (2014)
2. Bartaburu, D.: Evaluación de una metodología de modelación y simulación participativa para contribuir a la comprensión y comunicación del fenómeno de la sequía y mejorar la capacidad de adaptación de productores ganaderos del basalto. 44p. Montevideo-Uruguay, Instituto Plan Agropecuario (2011)
3. Bartaburu, D., Cesar, R.: Nuevas herramientas para la gestión predial: Uso de modelos de simulación Revista del Instituto Plan Agropecuario, 145: 20-22 (2013).
http://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R145/R_145_20.pdf
4. Berreta, E.: Perfiles por País del Recurso Pastura/Forraje. Uruguay. FAO (2003)
http://www.fao.org/ag/agp/AGPC/doc/Counprof/PDF%20files/Uruguay_Spanish.pdf
5. Bettolli, M.L., Altamirano, M., Cruz-Brascesco, G., Rudorff, F., Martínez-Ortiz A., Arroyo, J., Armoa, J.: Pastura natural de Salto (Uruguay): relación con la variabilidad climática y análisis de contextos futuros de cambio climático. Revista Brasileira de Meteorologia, 25: 248 – 259 (2010)
6. Bidegain, M., Crisci, C., del Puerto, L., Inda, H., Mazzeo, N., Taks, J., Terral.: Clima de cambios: Nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. 130 pp. FAO-MGAP. TCP URU/3302, Montevideo (2013)
7. Boogaard, H.L., Van Diepen, C.A., Roetter, R.P., Cabrera, J., Van Laar, H.H.: WOFOST 7.1; User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5. DLO Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands (1998)
8. Davenport, W., Davenport, W., Root, W.: An Introduction to the Theory of Random Signals and Noise. Inst of Electrical & Elec. 408 pp. Mc Graw-Hill. New York. (1987)
9. DIEA: Dirección de Estadísticas Agropecuarias. Anuario estadístico, Ministerio de ganadería, Agricultura y Pesca, Montevideo, Uruguay.
<http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxpp001.aspx?7,5,27,O,S,0,MNU;E;2;16;10;6;MNU>
10. Dieguez, F., Bommel, P., Corral, J., Bartaburu, D., Pereira, M., Montes, E., Duarte, E., Morales Grosskopf, H.: Modelización de una explotación ganadera extensiva criadora en basalto. Agrociencia, 16, 120-130 (2012).
11. Duarte, E.: Resultados del Módulo Itacumbú, de la Liga de Trabajo de Tomás Gomensoro (LTTG), Artigas. Módulo de recrias de hembras. 2° generación. Revista del Instituto Plan Agropecuario, 143: 22-26 (2012). http://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R143/R_143_22.pdf

12. Folland, C.K., Karl, T.R., Nicholls, N., Nyenzi, B.S., Parker, D.E., Vinnikov, K.Y.: Observed climate variability and change. In: Houghton, J.T., Callander, B.A. and Varney, S.K., (eds), *Climate change* Cambridge. 200 pp. Cambridge University Press (1992)
13. Galvin, K., Thornton, P., Boone, R., Sunderland, J.: Climate variability and impacts on east African livestock herders. *African Journal of Range & Forage Science* 2004, 21(3): 183–189 (2004)
14. GFCC. Proyecto Ganaderos Familiares y Cambio Climático, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, Uruguay (2014). <http://www.mgap.gub.uy/portal/hgxxxp001.aspx?7,1,124,O,S,0,PAG;CONC;599;3;D;6320;1;PAG;>
15. Harrington, H.J., Tumay, K.: Introduction to process simulation. In: Harrington HJ, Tumay K. (eds.) *Simulation modeling methods*. pp. 1 – 31. McGraw-Hill. New York (2000)
16. IPA. Instituto Plan Agropecuario. www.planagropecuario.org.uy
17. LART. Laboratorio Regional de Teledetección de la Universidad de Buenos Aires. <http://www.agro.uba.ar/laboratorios/lart/>
18. Li, F.Y., Vibart, R., Dynes, R., Vogeler, I., Brown, M.: Effects of weather variability on sheep and beef farming in northern Southland, New Zealand: A modelling analysis. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* 74. 77-84 (2012)
19. McKeon, G.M., Ash, A.J., Hall, W.B. Stafford-Smith, M.: Simulation of grazing strategies for beef production in north-east Queensland. In: *Applications of seasonal climate forecasting in agricultural and natural ecosystems—the Australian experience*. G. Hammer, N. Nicholls and C. Mitchell (eds.) pp. 227–252. Kluwer Academic Press, Netherlands (2000)
20. McKeon, G., Flood, N., Carter, J., Stone, G., Crimp, S., Howden, M.: Simulation of climate change impacts on livestock carrying capacity and production. *Garnaut Climate Change Review* (2008)
21. Means, L.O.: The effect of change in daily and interannual variability on CERES-wheat: A sensitivity study. *Climatic Change* 32: 257–92 (1996).
22. Montes, E: El campo natural y su potencial productivo. *Revista del Instituto Plan Agropecuario*, 143: 18-21 (2012). http://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R143/R_143_18.pdf
23. Mott, G.O.: Grazing pressure and the measurement of pasture production. In: Skidmore, C-L-, Boyle, P-J-, Raymond, L.W. (eds.) . *Proceedings 8th International Grassland Congress. Readings*. Alden Press. pp. 606 – 611 (1960)
24. Nelson, R. Kocic, P.: Forecasting the Regional Impact of Climate Variability on Australian Crop Farm Incomes, ABARE eReport 04.23 Prepared for the Grains Research and Development Corporation, Canberra. Australia (2004)
25. Panofsky, H. A., Brier, G. W.: *Some Applications of Statistics to Meteorology*, Penn. State Univ. Press, University Park (1958)
26. Parsons D. J., Armstrong, A. C., Turnpenney, J. R., Matthews, A. M., Cooper, K., Clark, J. A.: Integrated models of livestock systems for climate change studies. 1. Grazing systems (2001)
27. Pasternak, D., Nikiema, A., Fatondji, D., Ndjeunga, J., Koala, S., Dan Goma, A., Abasse T.: The Sahelian Eco-Farm. In: G. Omany and D. Pasternak (eds). *Sustainable Agriculture Systems for the Drylands*. ICRISAT, Patancheru, pp 286-296 (2005)
28. Pastor, J.: *Mathematical Ecology of Populations and Ecosystems*. A John Wiley&Sons, Ltd. (2008)
29. Pereira, M.: Manejo y conservación de las pasturas naturales del Basalto. Instituto Plan Agropecuario, Montevideo. (2011)
30. Reilly, J: *Agriculture: The Potential Consequences of Climate Variability and Change for the United States*. US National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change, US Global Change Research Program. Cambridge University Press, New York, NY (2001)
31. Riha, S.J., Wilks, D.S., Simoens, P.: Impact of temperature and precipitation variability on crop model predictions. *Climatic change*, 32(3), 293-311 (1996)
32. Rickert, K.G., Stuth, J.W., McKeon, G.M.: Modelling pasture and animal production. In 'Field and Laboratory Methods for Grassland and animal Production Research'. t Mannetje, L., Jones, R.M. (eds.) pp. 29–66. CABI publishing. New York (2000)
33. SNIA. Sistema Nacional de Información Agropecuaria. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Uruguay (2014) <http://www.mgap.gub.uy/opypa/ANUARIOS/Anuario2013/material/pdf/32.pdf>
34. Soca, P., Olmos, F., Espasandín, A., Bentancur, D., Pereyra, F., Cal, V., Sosa, M., Do Cormo, M.: Herramientas para mejorar la utilización del forraje del campo natural, el ingreso económico de la cría y atenuar los efectos de la variabilidad climática en sistemas de cría vacuna del Uruguay, In: Seminario de actualización técnica: cría vacuna. Serie Técnica 174, Quintans, Velazco, Roig (eds.) INIA, Montevideo, (2008)
35. Thornley, J.H.M., France, J.: Role of mathematical models. In: *Mathematical models in agriculture*. Thornley, J.H.M., France, J (eds.) pp. 1 – 17. Cabi Publishing. England (2007)
36. Thornton, P.K., van de Steeg, J., Notenbaert, A., Herrero, M.: The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems* 101, 113–127 (2009)
37. Vargas, L.M. Desarrollo de un modelo dinámico mecanístico para la estimación de parámetros de crecimiento bacteriano ruminal mediante una técnica de doble ajuste. Facultad de Veterinaria y Zootecnia. Universidad de Yucatán. México. http://www.avanzavet.com/bioeficiencia/media/TD_LVargas.pdf
38. Vetter, S.: Rangelands at equilibrium and non-equilibrium: recent developments in the debate. *Journal of Arid Environments* 62, 321–341(2005)

39. vonBertalanffy L.: The history and status of general systems theory. *The Academy of Management Journal*, 15: 407 - 426 (1972)
40. Wainwright J, Mulligan M.: Introduction. In: *Environmental Modelling : Finding Simplicity in Complexity*. Wainwright J, Mulligan M. (eds.) pp. 1 - 4. John Wiley & Sons. England (2004)
41. Walker, B., Carpenter, S., Anderies, J., Abel, N., Cumming, G., Janssen, M., Lebel, L., Norberg, J., Peterson, G., Pritchard, R.: Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology* 6(1): 14. <http://www.consecol.org/vol6/iss1/art14/> (2002)
42. Wedderburn, L., Montes de Oca, O., Diegues, F.: Developing frameworks to assess impacts of multiple drivers of change on grassland systems. *Proceedings 22nd International Grassland Congress, Australia*. (2013)