



Universitat Autònoma de Barcelona

**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

**ADVERTENCIA.** El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

**WARNING.** The access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.

Urografía excretora: técnica, modalidades de imagen, interpretación, y dosis mínima en conejos White New Zealand (*Oryctolagus cuniculus*) sanos.

Laura Vilalta Solé

*Tesis doctoral dirigida por:*

*Dr. Jaume Miquel Martorell Monserrat*

*Departament de Medicina i Cirurgia Animals*

*Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de  
Barcelona*

*Cerdanyola del Vallès, 2022*

Programa de Doctorat en Medicina i Sanitat Animals

Departament de Medicina i Cirurgia Animals

Facultat de Veterinària

Universitat Autònoma de Barcelona

Urografía excretora: técnica, modalidades de imagen, interpretación, y dosis mínima en conejos White New Zealand (*Oryctolagus cuniculus*) sanos.

Memoria presentada por:

**Laura Vilalta Solé**

para optar al grado de Doctora en Veterinaria

Bellaterra, 20 de enero de 2022

Director de tesis: **Dr. Jaume Miquel Martorell Monserrat**

El doctor **Jaume Miquel Martorell Monserrat**, del Departament de Medicina i Cirurgia Animals de la Universitat Autònoma de Barcelona.

CERTIFICA

Que la Tesis Doctoral titulada “Urografía excretora: técnica, modalidades de imagen, interpretación, y dosis mínima en conejos White New Zealand (*Oryctolagus cuniculus*) sanos”, la memoria de la cual es presentada por la licenciada en veterinaria **Laura Vilalta Solé** para optar al Grado de Doctora en Veterinaria, ha sido realizada bajo su supervisión y, considerándola finalizada, autorizan su presentación para que ésta sea juzgada por el tribunal correspondiente.

Y para que así conste, firmamos el presente certificado.

**JAIME MIGUEL  
MARTORELL  
MONSERRAT** - Firmado digitalmente  
por JAIME MIGUEL  
MARTORELL  
MONSERRAT - DNI  
43050463Y  
DNI 43050463Y Fecha: 2022.01.21  
08:07:53 +01'00'

Jaume Miquel Martorell Monserrat  
*Director*

**LAURA|  
VILALTA|  
SOLE** - Firmado digitalmente por  
LAURA|VILALTA|  
SOLE  
Fecha: 2022.01.20  
15:34:22 +01'00'

Laura Vilalta Solé  
*Doctoranda*

Cerdanyola del Vallès, 20 de enero de 2022

# Agradecimientos



# Índice de contenidos

<u>ABREVIATURAS</u>	9
<u>RESUMEN</u>	11
<u>ABSTRACT</u>	15
<u>JUSTIFICACIÓN</u>	19
<u>ANTECEDENTES</u>	21
1 <i>TRACTO URINARIO EN CONEJOS: anatomía y enfermedades.</i>	22
2 <i>DIAGNÓSTICO DE LAS ENFERMEDADES DEL TRACTO URINARIO.</i>	25
2.1 Radiografías simples.	25
2.2 Ecografía abdominal.	28
2.3 Técnicas de imagen con contraste.	29
2.3.1 Tomografía computarizada.	32
2.3.2 Urografía excretora o pielografía intravenosa.	34
2.3.3 Pielografía percutánea anterógrada.	35
2.3.4 Cistografía retrógrada.	37
2.3.5 Uretrografía / vaginouretrografía retrógrada.	39
2.3.6 Otras técnicas de imagen.	40
3 <i>UROGRAFÍA EXCRETORA.</i>	42
3.1 Técnicas y modalidades de imágenes.	42
3.2 Procedimiento.	44
3.3 Fases de la urografía excretora.	47
3.4 Interpretación de la urografía excretora.	50
3.5 Descripción de su uso por especies.	59
3.6 Tiempos de exposición.	62



3.7 Dosis utilizadas y duración de la administración.	65
3.8 Complicaciones de la urografía excretora.	77
3.8.1 Administración de contraste yodado intravenoso.	77
3.8.2 Necesidad de sedación o anestesia.	82
3.9 Contraindicaciones de la urografía excretora.	88
<u>HIPÓTESIS</u>	89
<u>OBJETIVOS</u>	91
<u>ESTUDIOS</u>	83
- Estudio 1: “Description and comparison of excretory urography performed during radiography and computed tomography for evaluation of the urinary system in healthy New Zealand White rabbits ( <i>Oryctolagus cuniculus</i> )”.	94
- Estudio 2: “Description of digital fluoroscopic excretory urography in healthy New Zealand rabbits ( <i>Oryctolagus cuniculus</i> )”.	122
- Estudio 3: “Effect of contrast medium dose and image acquisition time on urographic phases opacification in healthy male White New Zealand Rabbits ( <i>Oryctolagus cuniculus</i> ) assessed by radiography”.	140
<u>DISCUSIÓN GENERAL</u>	167
<u>CONCLUSIONES</u>	175
<u>FUTUROS ESTUDIOS</u>	177
<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	179

# Abreviaturas

## LISTA DE ABREVIATURAS

TC	Tomografía Computarizada
UE	Urografía Excretora
PPA	Pielografía Percutánea Anterógrada
RUE	Urografía Excretora con Radiografía
TCUE	Urografía Excretora con Tomografía Computarizada
FUE	Urografía Excretora con Fluoroscopia
RFG	Ratio de Filtración Glomerular
NIC	Nefropatía Inducida por el Contraste
DRA – PC	Daño Renal Agudo Post Contraste
AACS – PC	Aumento Agudo de la Creatinina Sérica Posterior a la administración de Contraste
ASA	American Society of Anaesthesiologist

# Resumen

Las patologías del tracto urinario son frecuentes en conejos de compañía. La radiografía y ecografía abdominal son las principales pruebas realizadas para su diagnóstico, aunque la anatomía particular del tracto gastrointestinal de los conejos limita su capacidad diagnóstica debido a la presencia de gas, al pobre contraste de los tejidos blandos abdominales y a la superposición de estructuras.

Las modalidades de imagen con contraste incrementan la visualización de las estructuras del tracto urinario, mejorando la caracterización de las patologías renales, uretrales y de la vejiga de orina. La urografía excretora (UE) es una de las técnicas más utilizadas en medicina de perros y gatos. La UE se basa en la toma secuencial de imágenes después de administrar un medio de contraste yodado, estéril, soluble en agua, iónico o no iónico, normalmente por vía intravenosa. Nos permite evaluar el tamaño, forma, posición, y opacidad de los riñones, uréteres y vejiga de la orina. Se pueden observar diferentes fases durante la UE en función de la distribución del contraste; la fase vascular, nefrográfica (con sus subfases corticomedular y medular), pielográfica y cistográfica. La UE se puede realizar utilizando diferentes modalidades de imagen, como radiografía (RUE), tomografía computarizada (TCUE), fluoroscopia (FUE) o resonancia magnética.

Existen algunos estudios sobre su uso en conejos, aunque no se ha establecido el protocolo exacto, la dosis recomendada o el inicio de las diferentes fases de la UE en esta especie.

Los objetivos de la presente tesis doctoral incluyen:

- Estudio 1: evaluar la utilidad y efectividad de la RUE y TCUE en la visualización de las estructuras del tracto urinario, determinar el tiempo de inicio de las fases de la UE, comparando la sensibilidad de detección entre las diferentes modalidades de imagen, y determinar la duración de la fase nefrográfica y pielográfica con la RUE en conejos sanos, utilizando una dosis de 850 mgI/kg de iopamidol.
- Estudio 2: evaluar la utilidad y efectividad de la FUE en la visualización de las estructuras del tracto urinario y determinar el tiempo de inicio de las fases de la UE en conejos sanos, utilizando una dosis de 850 mgI/kg de iopamidol.

- Estudio 3: determinar el efecto de la dosis en el inicio de las diferentes fases del urograma y determinar la mínima dosis necesaria para obtener un urograma de excelente calidad diagnóstica en conejos sanos, utilizando dosis de 200, 400 y 600 mgI/kg de iopamidol.

En todos los estudios los conejos fueron considerados sanos en base al examen físico, pruebas laboratoriales (hemograma, bioquímica sérica y análisis de orina), pruebas de imagen (radiografías y ecografías abdominales) y análisis post-mortem o serología de *Encephalitozoon cuniculi*. Entre los diferentes estudios se dejó un tiempo de descanso de un mínimo de 5 días para evitar interferencias del medio de contraste con los sucesivos estudios.

En el estudio de RUE y TCUE se utilizaron 13 conejos sanos, obteniendo una calidad diagnóstica excelente en todas las UE realizadas, independientemente de la técnica utilizada. No obstante, la TCUE proporcionó un mayor detalle del parénquima renal. Solo un conejo mostró un efecto adverso menor asociado a la administración del contraste durante la realización del estudio radiológico (7,69% casos), demostrando ser una técnica segura en conejos. En todos los casos las fases vascular y nefrográfica se observaron en la primera imagen post-contraste en la REU, obtenida entre los segundos 34 y 40 (mediana 39 segundos). En el TCUE se detectó la fase vascular a los 18 segundos de mediana, y la fase corticomedular y tubular del nefrograma, a los 20 y 32 segundos de mediana respectivamente. La fase pielográfica se detectó a los 1,63 minutos de mediana con ambas modalidades de imagen. Y la cistográfica a los 2,20 minutos de mediana con la REU, y en la última secuencia post-contraste, realizada en un tiempo < 1 minuto en la TCUE. La duración del nefrograma y pielograma fue de 8 horas y 2,67 horas de mediana, respectivamente.

En el estudio de FUE se utilizaron 12 conejos, todos los estudios realizados tuvieron una calidad diagnóstica buena. Ningún conejo mostró efectos adversos asociados a la administración del contraste, demostrando ser una técnica segura en conejos. La fase vascular se detectó de forma inmediata al inicio de la administración del contraste. El nefrograma se detectó a los 10 segundos de mediana, el pielograma a los 1,39 minutos de mediana y el cistograma a los 1,58 minutos de mediana.

Aunque no es posible establecer una comparativa directa entre los estudios realizados en las diferentes especies, por sus diferentes protocolos y dosis utilizadas, parece que en conejos el inicio y máxima visualización de las fases sería más similar al descrito en perros y gatos que al resto de especies, aunque ligeramente más temprano.

En el estudio comparativo de dosis de contraste, se utilizaron 6 animales, realizándose en cada individuo 3 estudios urográficos, uno con cada una de las dosis, de forma cruzada y aleatoria. Ningún conejo mostró efectos adversos asociados a la administración del contraste, demostrando ser una técnica segura en conejos. La opacidad se graduó en pobre, moderada o excelente, comparando dicha opacidad con los estudios basales realizados en cada individuo, y los obtenidos en el primer estudio con una dosis de 850 mgI/kg, categorizadas como excelentes. Las dosis de 200 y 400 mgI/kg proporcionaron una opacificación de pobre a moderada, haciéndolas no adecuadas para la evaluación del tracto urinario en conejos. La dosis de 600 mgI/kg proporcionó una mejor opacidad, categorizada de moderada a excelente, siendo en la fase pielográfica donde se observaron más variaciones. Considerando que un grado de opacidad moderada, implica una opacificación parcial, y teniendo en cuenta que en pacientes clínicos tendremos mayor interferencia en las pruebas radiográficas por la mayor presencia de gas en el tracto gastrointestinal; y el hecho de que disponemos de resultados con opacidades excelentes con REU administrando dosis de 850 mgI/kg, esta dosis tampoco se consideró adecuada para la evaluación del tracto urinario en conejos. En conclusión, aunque en perros y gatos, se han establecido dosis menores para la evaluación del tracto urinario con la RUE, la anatomía particular del tracto gastrointestinal en conejos, y el poco contraste inherente de los órganos de la cavidad abdominal en radiografía, hacen que estas dosis no sean efectivas en esta especie, recomendándose para esta modalidad de imagen dosis de 850 mgI/kg.

# Abstract



Urinary tract diseases are common in pet rabbits. Abdominal radiography and ultrasound are the main tests performed for its diagnosis, although the rabbits' gastrointestinal anatomy limits its diagnostic capacity due to the amount of gas within the intestines, the inherent poor tissue contrast of abdominal organs, and the superimposition between the abdominal structures.

Contrast imaging modalities increases visualization of urinary tract structures, improving characterization of renal, ureteral, and urinary bladder pathologies. Excretory urography (EU) is one of the contrast techniques most used in dogs and cats. Excretory urography is based on sequential imaging after the administration of sterile, water-soluble, ionic or non-ionic iodinated contrast media, usually intravenously. It allows evaluation of size, shape, position, and opacity of the kidneys, ureters, and urinary bladder. Different phases can be observed during EU based on contrast distribution: vascular phase, nephrographic phase (with its corticomedullary and medullary subphases), pyelographic phase and cystographic phase. Excretory urography can be performed using different imaging modalities, such as radiography (REU), computed tomography (CTEU), fluoroscopy (FEU), or magnetic resonance.

There are few experimental studies on its use in rabbits, although the exact protocol, the recommended dose, or the initiation of the urographic phases have not been established in rabbits.

The objectives of this thesis include:

- Study 1: evaluate the usefulness and effectiveness of REU and TCEU in visualization of the urinary tract structures, determine the time of initiation of the EU phases, comparing the sensitivity with the different imaging modalities; and determine the duration of the nephrographic and pyelographic phases with REU in healthy rabbits, using a dose of 850 mgI/kg of iopamidol.
- Study 2: evaluate the usefulness and effectiveness of FEU in visualization of the urinary tract structures and determine the time of initiation of the EU phases in healthy rabbits, using a dose of 850 mgI/kg of iopamidol.
- Study 3: determine the effect of the dose with the initiation of urographic phases and determine the minimum dose required to obtain an urogram of excellent

diagnostic quality in healthy rabbits, using doses of 200, 400 and 600 mgI/kg of iopamidol.

In all studies, rabbits were considered healthy based on physical examination, laboratory test (complete blood count, serum biochemistry, and urinalysis), imaging test (abdominal radiographies and ultrasound), and post-mortem analysis or *Encephalitozoon cuniculi* serology. A minimum of 5-day washout period was provided between studies to allow contrast medium excretion and to avoid cross-interference of iodinated contrast medium between examinations.

In the REU and CTEU study, 13 healthy rabbits were used, obtaining an excellent diagnostic quality in all the EU performed, regardless of the technique used, however CTEU studies provided a better detail of the renal parenchyma. Only one rabbit showed a minor adverse effect associated with contrast medium administration during the REU study (7.69% of cases), proving to be a safe technique in rabbits. The vascular and nephrographic phase was detected in the first postcontrast REU image obtained between 34 and 40 seconds (median time of 39 seconds) after initiation of contrast medium administration. In the CTEU study, the vascular phase was detected at a median time of 18 seconds, and the corticomedullar and tubular phases at a median time of 20 and 32 seconds, respectively. The pyelographic phase began at a median time of 1.63 minutes with REU and CTEU. Contrast medium was visible within the urinary bladder at a median interval time of 2.20 minutes with the REU study, and in all postcontrast CTEU scanners performed in < 1 minute after the detection of the pyelographic phase. Median interval time to the point at which the nephrogram and pyelogram were no longer visible in REU images was 8 hours and 2.67 hours, respectively.

In the FUE study, 12 healthy rabbits were used, obtaining a good diagnostic quality. No rabbits showed adverse effects associated with the contrast medium administration, proving to be a safe technique in rabbits. The vascular phase was detected immediately with the initiation of contrast medium administration. The median time of beginning of the nephrographic and pyelographic phases was 10 seconds, and 1.39 minutes, respectively. The median time in which the contrast medium was visible in the urinary bladder was 1.58 minutes.

Although it is not possible to establish a direct comparison between the studies carried out in the different species, due to their different protocols and doses used, it seems that in rabbits the initiation and maximum visualization of the EU phases are similar to that described in dogs and cats, although slightly earlier.

In the comparative study of contrast doses, 6 healthy rabbits were used, performed 3 urographic studies on each (200, 400 and 600 mgI/kg) in a crossover and random fashion. No rabbits showed adverse effects associated with the contrast medium administration, proving to be a safe technique in rabbits. The opacity of each image (categorized as poor, moderate or excellent) was compared with the pre-contrast images performed in each study, and with those obtained in the study 1 (dose 850 mgI/kg, excellent quality). Opacity was variable depending on the dose used and time, with no significant differences observed at the phases' initiation. The doses of 200 and 400 mgI/kg provided a poor to moderate opacification, making them no suitable for evaluation of the urinary tract in rabbits. The dose of 600 mgI/kg provided a better opacification, from moderate to excellent, but highly variable, especially in the pyelographic phase. Considering that a moderate degree of opacification implies a partial opacification and taking into account that in clinical patients a greater interference in radiographic images will be expected due to the greater amount of gas in the gastrointestinal tract, and the fact that we have results with excellent opacification with REU studies using doses of 850 mgI/kg, the dose of 600 mgI/kg was also not considered adequate for the evaluation of the urinary tract in rabbits.

In conclusion, although in dogs and cats, lower doses of contrast mediums have been proved to be useful for the evaluation of urinary tract with REU, the rabbits' gastrointestinal tract anatomy in rabbits, and its inherent lower contrast of the abdominal organs in radiography, make these doses ineffective in rabbits, recommending a dose of 850 mgI/kg for this imaging modality.

# Justificación

La elevada incidencia de patologías del tracto urinario en conejos y la falta de estudios sobre pruebas diagnósticas en esta especie, dificulta el manejo clínico de los pacientes.

La medicina de animales exóticos, aunque en pleno crecimiento, está limitada por la falta de estudios científicos en muchas de las especies y ámbitos de la medicina veterinaria. Hecho que implica que frecuentemente en la clínica nos encontremos con la necesidad de extrapolar técnicas diagnósticas, con la dificultad que supone por las particularidades anatómicas y fisiológicas que presentan muchas de las especies incluidas en la denominación de animales exóticos. En la práctica esto supone una dificultad tanto durante la realización del procedimiento como en su interpretación, que puede llevar a errores diagnósticos, al no disponer de valores de normalidad, e incluso que directamente dichas pruebas no se incluyan en el protocolo diagnóstico, limitando mucho la capacidad del veterinario para poder ofrecer la misma calidad médica y opciones terapéuticas.

Antes de que cualquier prueba pueda convertirse en una modalidad diagnóstica eficaz, se deben caracterizar los datos específicos normales de la especie a estudio.

La presente tesis doctoral se organiza en una introducción sobre la anatomía y enfermedades del tracto urinario en conejos, en la cual se describen todas las pruebas de imagen disponibles para el diagnóstico de patologías urinarias en medicina veterinaria. Describiendo con mayor profundidad la urografía excretora, procedimientos descritos en las diferentes especies, técnicas y dosis utilizadas, y contraindicaciones y efectos adversos más frecuentes en las especies estudiadas. Con este apartado se pretende ofrecer toda la información disponible en un amplio rango de especies y justificar que adaptaciones se deberían realizar a la hora de realizar dicha técnica diagnóstica en conejos.

En los siguientes apartados, se exponen las principales hipótesis y objetivos, los estudios realizados sobre urografías excretoras en conejos sanos, con las diferentes modalidades de imagen y dosis, y finalmente se realiza una discusión general y conclusiones de los resultados obtenidos en los estudios.

# Antecedentes

## 1. TRACTO URINARIO EN CONEJOS: anatomía y enfermedades.

Como en otras especies de mamíferos, los riñones en conejos se localizan en el espacio retroperitoneal, tienen una cápsula fibrosa y están envueltos por tejido adiposo.<sup>1-3</sup> La apariencia macroscópica de los riñones es similar a la de los gatos, en cuanto a su tamaño y forma.<sup>1,4</sup> Tienen un color marrón rojizo, con una superficie lisa y una estructura simple.<sup>1,3</sup>

Tienen una posición asimétrica, localizándose el riñón derecho más cranealmente que el izquierdo (entre las vértebras T13 - L2 y L2 - L5, respectivamente).<sup>4-6</sup> El tamaño renal varía en función del tamaño del conejo y de la fuente bibliográfica consultada (3 cm x 2 cm x 10 cm,<sup>1</sup> 3,27 - 3,43 cm en razas de enanas a grandes,<sup>7</sup> 1,90 - 2,28 cm en conejos enanos,<sup>6</sup> y 2,30 - 2,60 cm en conejos *New Zealand* <sup>5</sup>). El parénquima renal está formado por el córtex renal rodeando la médula renal, en la cual se pueden diferenciar claramente dos zonas, exterior e interior. Los riñones tienen una papila única, con una invaginación extensa de la pelvis renal hacia el tejido medular renal (Figura 1).<sup>1,3-5,7,8</sup> Los nervios, vasos sanguíneos y uréteres entran y salen por el hilio renal, que contiene una cantidad variable de grasa.<sup>1</sup>

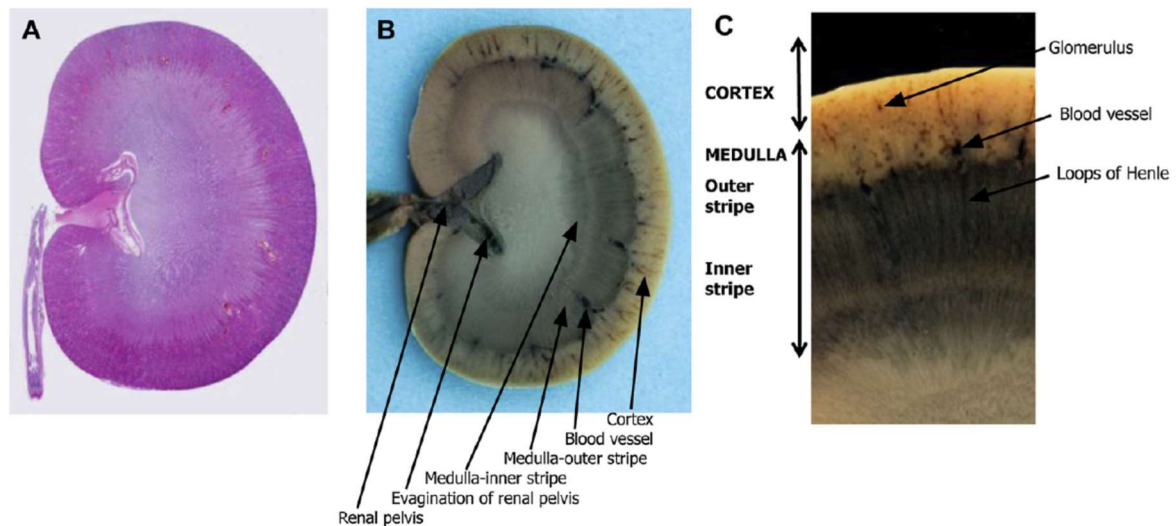


Figura 1. Estructura anatómica renal normal en conejos. Sección longitudinal de un corte histológico con tinción Hematoxilina/Eosina (A) y fijado con formol (B). C – Imagen con mayor aumento donde se pueden diferenciar el córtex de la médula renal.

Fuente bibliográfica: Harcourt-Brown FM. *Diagnosis of renal diseases in rabbits*. Vet Clin North Am Exot Anim Pract, 2013.

Los uréteres, anatómicamente similares al resto de mamíferos, son estructuras tubulares finas, de un diámetro medio de 2 mm (uréter derecho 1,30 mm  $\pm$  0,40, uréter izquierdo 1,80 mm  $\pm$  0,40), que se originan en los riñones y se insertan en la región dorsocaudal de la vejiga urinaria, cerca del cuello vesical.<sup>4</sup>

La vejiga urinaria se localiza en el abdomen caudal, tiene una forma piriforme y una pared fina.<sup>2,4,7</sup> Su forma y tamaño varía en función de su distensión,<sup>4,7</sup> pudiendo llegar a la quinta vértebra lumbar cuando está distendida.<sup>4</sup>

La uretra se localiza en la región intrapélvica, es una estructura tubular corta (<20 mm de ancho), que conecta la vejiga urinaria con la región extraabdomal.<sup>4</sup>

Las glándulas sexuales accesorias tienen una íntima relación con la uretra, se localizan en su parte dorsal,<sup>9</sup> e incluyen la *ampulla ductus deferentis*, la glándula vesicular o vesícula seminal, la próstata, la parapróstata y la glándula bulbouretral.<sup>9,10</sup> La glándula vesicular o vesícula seminal requiere una mayor descripción, por la problemática que puede provocar durante el sondaje uretral,<sup>9</sup> o durante la interpretación de las pruebas de imagen.<sup>11</sup> Esta es la glándula más craneal, localizada en la superficie dorsal de la uretra con un íntimo contacto con el cuello de la vejiga urinaria, ya que su corto conducto desemboca cerca del cuello.<sup>9</sup> Es una estructura sacular, formada por una pared fina y expandible, con un lumen,<sup>9,10</sup> aunque algunos autores la describen como bilobular o septada.<sup>12</sup> El lumen puede dilatarse de forma marcada por la acumulación de fluidos de las glándulas que se localizan en su pared, llegando a contactar con el colon y recto<sup>9,12</sup> (Figura 2).



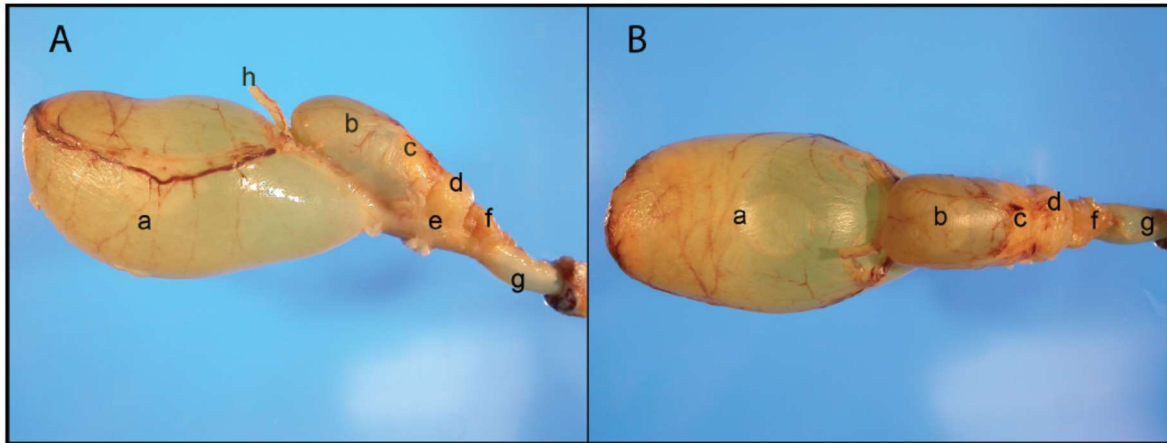


Figura 2. Imágenes de la vejiga de la orina y glándulas sexuales accesorias en conejos sanos. A – B. Vista lateral y dorsal, respectivamente, dónde se pueden observar las siguientes estructuras anatómicas: vejiga de la orina (a), glándula vesicular (b), próstata (c), parapróstata (d), parapróstata (e), glándulas bulbouretrales (f), uretra (g), conducto deferente (h).

Fuente bibliográfica: *Urinary catheterization of male rabbits: a new technique and a review of urogenital anatomy. J Am Assoc Lab Anim Sci, 2013.*

Las patologías del tracto urinario son frecuentes en conejos de compañía,<sup>1,13</sup> llegando a identificarse lesiones renales en estudios postmortem en el 32,50% de los conejos adultos enfermos,<sup>14</sup> en el 25% de los conejos adultos aparentemente sanos<sup>14</sup> y en más del 70% de conejos geriátricos.<sup>15,16</sup>

Las principales patologías diagnosticadas en esta especie son nefritis intersticial crónica, generalmente causada por *Encephalitozoon cuniculi*, y cálculos urinarios, principalmente causados por desequilibrios metabólicos (elevada ingesta de calcio en la dieta o un consumo insuficiente de agua).<sup>16-19</sup> Otras patologías menos frecuentes son hipercalciuria, nefrocalcinosis, pielonefritis, neoplasias renales (primarias o secundarias), quistes renales, defectos congénitos, o amiloidosis.<sup>1,14,16,18-21</sup>

## 2. DIAGNÓSTICO DE LAS ENFERMEDADES DEL TRACTO URINARIO.

El diagnóstico de las enfermedades del tracto urinario en conejos es más difícil que en perros y gatos, ya que presentan signos clínicos más inespecíficos.<sup>1,17</sup> Las características anatómicas propias de la especie imposibilitan el vómito (esfínter del cardias muy desarrollado y localización en el centro de la curvatura menor del estómago),<sup>22,23</sup> y otros signos como poliuria y polidipsia suelen pasar desapercibidos por los propietarios.<sup>1,17</sup> Las pruebas laboratoriales, principalmente bioquímica sérica y análisis de orina, no muestran alteraciones hasta que el 50 – 70% de la función renal está comprometida.<sup>16,17</sup>

Por estas razones las pruebas de imagen son de gran utilidad en el diagnóstico de patologías del tracto urinario, siendo la radiografía simple y la ecografía abdominal, las técnicas más frecuentemente utilizadas en conejos, aunque existen muchas otras modalidades de imagen para su diagnóstico. La selección de la más adecuada dependerá de la patología a diagnosticar, de la zona anatómica afectada (tracto urinario superior, inferior o ambos) y de los estudios disponibles en la especie afectada para una correcta interpretación.

### 2.1 Radiografías simples.

Es una técnica disponible en la mayoría de los centros veterinarios, y de bajo coste económico, por lo que clásicamente suele ser la primera modalidad de imagen elegida para el diagnóstico de patologías urinarias en conejos,<sup>7</sup> del mismo modo que en perros y gatos.<sup>24</sup>

***Indicaciones:*** útil para identificar cambios en el número, tamaño, forma, simetría, localización y opacidad de los riñones. Permite identificar cálculos radiopacos. Siempre se debe realizar si se sospecha de obstrucciones, ya que los cálculos pueden ser difíciles de detectar con la ecografía.<sup>25</sup>

La correlación entre la longitud del riñón y el cuerpo vertebral de la L2 se usa también en conejos como medida de tamaño renal, disponemos de descripciones en conejos *White New Zealand* (Riñón der/L2: 2,32; riñón izq/L2: 2,59)<sup>5</sup> y en conejos enanos (Riñón der/L2: 2,05 ± 0,28; riñón izq/L2: 2,11 ± 0,33).<sup>6</sup> En conejos enanos también se puede utilizar el ratio con la L5, ya que no se han observado diferencias entre la longitud del cuerpo vertebral de la L2 y L5 con el peso corporal (Riñón der/L5: 1,95 ± 0,24; riñón izq/L5 2,00 ± 0,29).<sup>6</sup>

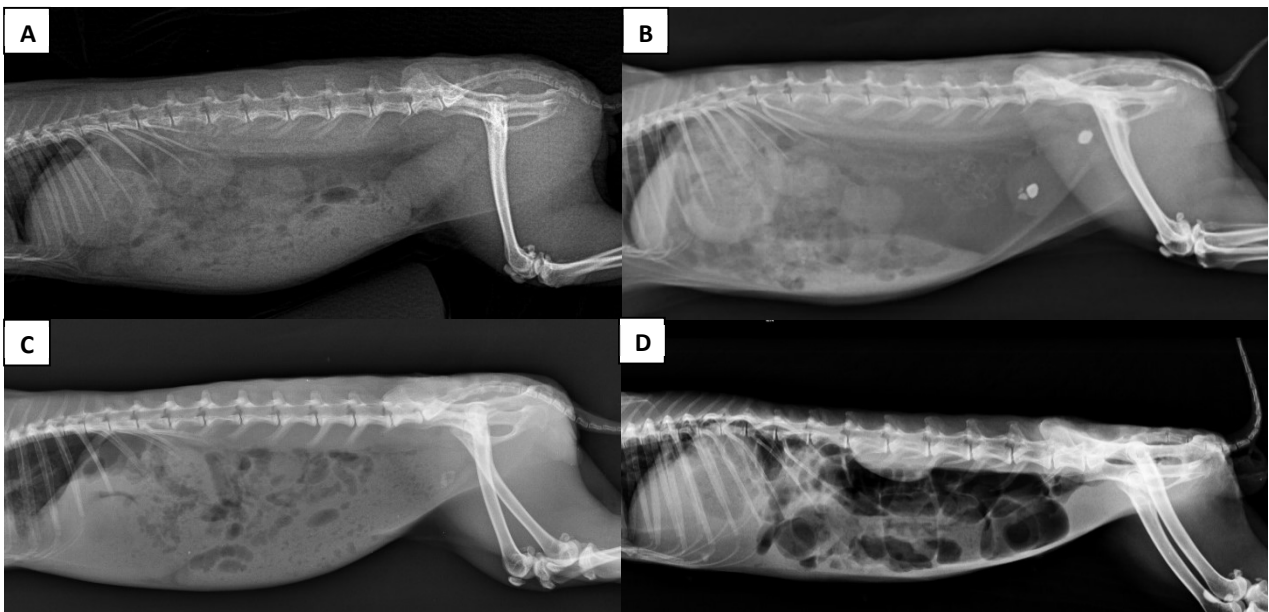
***Principales ventajas:*** es una técnica muy sensible para detectar la presencia de minerales con una composición de calcio en cualquier parte del tracto urinario (parénquima renal, pelvis renal, uréteres, vejiga o uretra).<sup>7</sup> La mayoría de los cálculos urinarios en conejos tienen una composición de carbonato cálcico (69,40% de los cálculos) o contienen sales de calcio (27,70% de los cálculos),<sup>26</sup> radiopacos en radiografía. Permite diagnosticar casos de hipercalciuria, donde el mineral se acumula en la vejiga como un material granular o un sedimento amorfo,<sup>1,7,17</sup> mineralizaciones ectópicas o distróficas (principalmente en aorta, arterias subclavias y riñones) y aumentos de la opacidad ósea (osteoesclerosis), asociadas a patologías renales.<sup>1,17</sup>

La presencia de grasa abdominal permite la delimitación de los órganos, ya que este actúa como un contraste negativo.<sup>2,27</sup> La visualización de ambos riñones mejora con la grasa intraabdominal, siendo el riñón izquierdo más visible que el derecho, como se ha descrito en otras especies, como hurones y perros (principalmente por su superposición con el hígado).<sup>6</sup> En animales jóvenes o caquéticos no tendremos esta mayor delimitación.<sup>2,27</sup> Frecuentemente los conejos de compañía están obesos y la cantidad de grasa sublumbar mejora la visualización de las siluetas renales, aunque desplaza craneoventralmente los órganos internos (Figura 3).<sup>2</sup> En conejos enanos se ha observado una correlación positiva entre el peso corporal y el desplazamiento renal (rango de desplazamiento de la columna vertebral con el riñón izquierdo 11,31-22,80 mm vs 13,14-16,47 mm con el riñón derecho).<sup>6</sup>

***Principales complicaciones/limitaciones:*** limitada resolución de contraste, espacial y superposición de estructuras. Proporciona información insuficiente de riñones y tracto urinario por el pobre contraste de tejidos que presentan inherentemente los

conejos en la cavidad abdominal.<sup>1</sup> No permite la visualización de los uréteres, o valorar el grosor de la pared de la vejiga urinaria.<sup>2,6,7,24</sup>

El gran tamaño del tracto digestivo de los conejos, con una distensión marcada del intestino grueso (con ingesta, gas y heces), pueden limitar la evaluación de los órganos abdominales por desplazamiento, compresión y superposición.<sup>4</sup> El ayuno podría reducir la cantidad de ingesta en el estómago e intestino grueso, mejorando la visualización del tracto urinario. No obstante, no se recomienda en conejos, ya que por su fisiología digestiva podría provocar efectos adversos.<sup>7</sup> La mayoría de los conejos con patologías, incluidas las del tracto urinario, se presentan a consulta con una estasis gastrointestinal asociado, la presencia de gas en las estructuras gastrointestinales dificultara la interpretación radiográfica, aunque en menor medida que en la ecografía abdominal (Figura 3).<sup>1</sup>



*Figura 3. Proyecciones radiográficas laterales de la cavidad abdominal en conejos. A – Visualización normal de la definición del tracto urinario. B – Mayor visualización del tracto urinario por la presencia abundante de grasa intraabdominal. Se puede observar el desplazamiento ventral de ambos riñones y la presencia de múltiples cálculos. B y C – Pérdida de definición del tracto urinario, en un conejo juvenil y en un conejo con estasis gastrointestinal, respectivamente.*

*Fuentes: servicio de diagnóstico por la imagen y animales exóticos de la Fundació Hospital Clínic de la Universitat Autònoma de Barcelona, y del Hospital Veterinario de referencia de la Universitat Catòlica de València "San Vicente Màrtir" (UCV).*

## 2.2 Ecografía abdominal.

Es la modalidad de imagen de elección después de la radiografía simple, principalmente por su capacidad de evaluación interna del parénquima renal y de la vejiga urinaria, y por ser una prueba no invasiva y segura.<sup>24,28</sup>

**Indicaciones:** es el método de elección para evaluar la arquitectura renal y vascular. Aunque los hallazgos ecográficos generalmente no son específicos de una enfermedad, nos permite diferenciar entre cambios renales agudos o crónicos, masas, quistes, mineralizaciones y alteraciones en el sistema colector y uréteres.<sup>24,25</sup> El uso de la ecografía Doppler permite evaluar la perfusión renal anormal causada por infartos o masas,<sup>25</sup> y calcular el índice de resistencia en obstrucciones uretrales, método efectivo, no invasivo y de bajo coste para su diagnóstico, especialmente después de la administración de diuréticos.<sup>29</sup> El uso de contraste en ecografía permite un mayor detalle vascular y de la perfusión renal, y mejorar la delimitación de lesiones en el parénquima renal, como masas e infartos.<sup>25</sup>

**Principales ventajas:** nos permite obtener imágenes en tiempo real con mayor visualización de la arquitectura tisular. Disponemos de valores de referencia e imágenes anatómicas-ecográficas emparejadas de los órganos de la cavidad abdominal en conejos, de gran utilidad durante la interpretación.<sup>30</sup>

Permite la detección de muchas alteraciones renales: fallo renal agudo (aumento tamaño renal, fluido perirenal), nefritis intersticial crónica (disminución tamaño, márgenes irregulares, pérdida de diferenciación corticomedular), pielonefritis (aumento difuso no homogéneo de la ecogenicidad en la medula renal), neoplasias renales (nódulos únicos o múltiples, pérdida parénquima normal, pérdida de la diferenciación glomerular, renomegalia), quistes renales (estructuras redondeadas con pared fina, contenido anecoico con sombra acústica posterior), cálculos en pelvis renal, uréteres o vejiga urinaria (estructura única o múltiples, hiperecoicas con márgenes lisos o irregulares con sombra acústica posterior), hidronefrosis (renomegalia, adelgazamiento del córtex renal, aumento del tamaño de la pelvis renal con un contenido anecoico), hidrouréteres (estructura tubular con contenido anecoico, paralelo a la aorta y vena

cava caudal), hipercalciuria (aumento de los cristales en suspensión en la vejiga urinaria), cistitis (aumento irregular de la mucosa de la vejiga), tumores en la vejiga urinaria (engrosamientos asimétricos de la pared con márgenes irregulares de la mucosa) y herniación de la vejiga (nos permite localizar la vejiga).<sup>7,19</sup>

*Principales complicaciones/limitaciones:* las ondas de ultrasonido no pueden penetrar el gas,<sup>7,28</sup> por lo que el tracto gastrointestinal de los herbívoros puede limitar la visualización de estructuras abdominales.<sup>7</sup> Especialmente en aquellos pacientes que de forma concomitante presenten estasis gastrointestinal, donde se produce un acúmulo generalizado de gas en el tracto gastrointestinal, generalmente de forma más marcada en el intestino grueso, de gran tamaño en conejos. Como anteriormente se ha mencionado el ayuno no se recomienda en esta especie, además un estudio realizado en conejos ha demostrado que un ayuno de 4 a 6 horas o la administración de simeticona para disminuir la acumulación de gas en el tracto gastrointestinal no mejoró la visualización ecográfica de los órganos abdominales.<sup>31</sup>

La evaluación de los riñones en animales grandes u obesos es complicada,<sup>24</sup> aunque los conejos de razas gigantes son infrecuentes en la clínica diaria. La integridad del tracto urinario en casos de trauma no puede ser evaluada de forma completa, en estos casos, y en la evaluación de uréteres ectópicos, los estudios con contraste son los métodos de elección.<sup>24</sup>

Los conocimientos anatómicos y la experiencia operador influencia en su capacidad diagnóstica,<sup>7,28</sup> y del mismo modo el equipo utilizado también puede ser un factor limitante, especialmente la sonda utilizada. Para animales exóticos se recomiendan sondas (lineares o cóncavas) de alta frecuencia (7,50 – 15MHz).<sup>7,32</sup>

### 2.3 Técnicas de imagen con contraste.

Las estructuras anatómicas solo se pueden distinguir unas de otras cuando tienen diferentes densidades, lo que no suele producirse con los tejidos blandos.<sup>27</sup>

La visualización del tracto urinario se puede incrementar con el uso de contrastes y así mejorar la caracterización de las patologías renales, ureterales y de la vejiga urinaria. En los últimos años el uso de contrastes en las diferentes modalidades de imagen ha aumentado exponencialmente, estos se administran principalmente vía intravenosa o directamente en cavidades.<sup>7,33</sup>

Los medios de contraste utilizados en medicina veterinaria son (Tabla 1):

- Agentes de contraste radiolúcidos (*negativos*):

El contraste negativo clásico es el aire ambiental, el cual se puede administrar directamente en la cavidad/órgano (por ejemplo, vejiga de la orina). Otros medios de contraste negativos más seguros son el dióxido de carbono u óxido nitroso, los cuales son más solubles en sangre y la embolia gaseosa es menos probable.<sup>24,27,33,34</sup> Principalmente se utilizan en cistografías de doble contraste o cistografías de contraste negativo.<sup>24,27</sup>

- Agentes de contraste radiopacos (*positivos*):

Son sales de yodo y se pueden clasificar en función de su osmolaridad respecto al plasma, según su disociación en iones o partículas cuando se disuelven en agua (iónicos y no iónicos) y en según su estructura molecular (monoméricos, si tienen un núcleo benzoico; diméricos, si tienen dos núcleos benzoicos, indistintamente de si son iónicos o no iónicos).<sup>33-36</sup>

- Yodados iónicos: solubles en agua, derivados del ácido benzoico triyodado. Los más utilizados son el diatrizoato o el iothalamato combinados con sales de sodio o meglumina.<sup>24,34</sup> Se disocian en solución, ejerciendo una presión osmótica entre 5 y 7 veces superior a los fluidos corporales. Su elevada osmolaridad es la responsable de la mayoría de los efectos secundarios.<sup>34</sup>

- Yodados no iónicos. Son los más utilizados para la evaluación del tracto urinario, por su mayor seguridad (osmolaridad más parecida al plasma), no se disuelven en iones positivos y negativos en contacto con sangre, y menor coste.<sup>7,24</sup> Los tradicionales son monoméricos, no se disocian en solución y tienen aproximadamente el doble de osmolaridad que los fluidos corporales, los más ampliamente usados son el iohexol y el iopamidol.<sup>7,24,34</sup>

Los medios de contraste yodados también se clasifican en diferentes generaciones en función de su osmolaridad, carga iónica y número de núcleos benzoicos (monoméricos vs diméricos).<sup>36</sup> Los de primera generación tienen una osmolaridad elevada, son iónicos y monoméricos. Su elevada osmolaridad provoca un aumento del ratio de efectos adversos y han sido reemplazados por agentes más seguros, los de segunda y tercera generación.<sup>36,37</sup> Los más frecuentemente utilizados son los agentes de segunda generación (ej. iohexol e iopamidol), con una osmolaridad de moderada a baja, no iónicos y monoméricos, con una buena tolerancia vascular y menos efectos secundarios.<sup>36</sup> La radiopacidad del medio de contraste está directamente relacionada con el contenido yodado del medio de contraste, por lo que el objetivo al desarrollar los medios de contraste de las generaciones sucesivas se ha basado en maximizar el contenido yodado minimizando la osmolaridad de la solución.<sup>36</sup> Los medios de contraste de tercera generación (ej. iodixanol e iotrolan) son isoosmolares, y no iónicos, descritos como los medios de contraste más seguros hasta la fecha.<sup>36</sup> Aunque, por su elevado coste su uso está limitado a pacientes humanos con riesgo a sufrir nefrotoxicidad por el contraste, y particularmente a pacientes con insuficiencia renal grave.<sup>36,38</sup> No obstante, hay estudios que no observan diferencias entre el uso de agentes de segunda y tercera generación (concretamente entre el iopamidol y el iodixanol) y la toxicidad renal.<sup>39</sup>



COMPONENTE	NOMBRE CO-MERICAL	CONCENTRACIÓN YODO	OSMOLARIDAD 37°C, mOsm/Kg	VISCOSIDAD 37°C
Sangre			290	2,20 Perro 3 Gato
<b>IÓNICOS MONOMÉRICOS (3 átomos de yodo, osmolaridad alta)</b>				
Diatrizoate	Urografin	370	2100	8,40
Iothalamate	Conray	400	2400	9
Ioxithalmate de meglumine	Telebrix	380	2100	8,50
Metrizoate	Isopaque	350	1970	3,40
<b>NO IÓNICOS MONOMÉRICOS (3 átomos de yodo, osmolaridad baja-moderada)</b>				
Iobitridol	Xenetix	350	915	10
Iohexol	Omnipaque	350	823	11,20
Iomeprol	Iomeron	350	610	8,10
Iopamidol	Iosovue	370	774	9,80
Iopentol	Imagopaque	350	810	12
Iopromide	Ultravist	350	774	9,50
Ioversol	Optiray	350	790	8,50
Ioxilan	Oxilan	350	700	7,80
<b>IÓNICO DIMÉRICOS (6 átomos de yodo, osmolaridad baja)</b>				
Ioxaglate de meglumine	Hexabrix	320	577	9,50
<b>NO-IÓNICO DIMÉRICOS (6 átomos de yodo, isoosmolar)</b>				
Iodixanol	Visipaque	320	290	11,10
Iotrolan	Isovist	300	290	9,50

Tabla 1. Viscosidad y osmolaridad de los medios de contraste yodados más comunes.<sup>33,35</sup>

Las modalidades de imagen con contraste más frecuentemente utilizadas en medicina veterinaria para la evaluación del tracto urinario incluyen la tomografía computarizada (TC), la urografía excretora (UE), la pielografía percutánea anterógrada (PPA), la cistografía retrograda y la uretrografía retrograda.

### 2.3.1 Tomografía computarizada.

Técnica de imagen avanzada, no invasiva, que proporciona una de las evaluaciones más completas del tracto urinario, con un detalle anatómico óptico de los órganos sin

superposición de estructuras, y con una resolución espacial y de contraste superior a las otras técnicas, por lo que su uso para el diagnóstico de patologías del tracto urinario ha aumentado en los últimos años.<sup>4,25,40</sup> El uso de contraste intravenoso aumenta la resolución de tejidos blandos, lo que permite una mayor evaluación del córtex, medula y pelvis renal.<sup>7</sup> Además, permite la realización de estudios urográficos o angiográficos durante el mismo examen.<sup>4</sup>

***Indicaciones:*** proporciona información adicional en pacientes con patologías detectadas en radiografía o ecografía abdominal. Permite evaluar la morfología renal (tamaño, forma, posición e inserción), uréteres y vejiga de la orina.<sup>24,25</sup>

Recientemente se ha descrito la anatomía tomográfica de los órganos del tracto urinario en conejos (riñones, uréteres, vejiga de la orina, uretra), pre y post contraste.<sup>4</sup> Los riñones son ovoides con un contorno regular en la mayoría de los casos (97,80%). El riñón derecho se localiza en una posición más craneal que el izquierdo (entre las vértebras T13 y L2, o entre las vértebras L2 y L5, respectivamente).<sup>4</sup> El córtex, la medula y la pelvis renal se diferencian fácilmente, al igual que el tejido adiposo (atenuado) que se encuentra en la pelvis renal. Los uréteres se visualizaron como estructuras tubulares, con una longitud variable en función de la posición del riñón y la vejiga, y con un diámetro medio de  $2 \pm 1$  mm, observándose en el 52% casos defectos de llenado. La vejiga de la orina, localizada en abdomen caudal (región intrapélvica cuando no contiene orina, y extendiéndose cranealmente a L4 – L5 cuando esta distendida), tiene una forma piriforme, con un tamaño y distensión variable.<sup>4</sup>

***Principales ventajas:*** no tendremos superposición de los órganos del tracto urinario con el tracto digestivo (independientemente de su contenido: ingesta, gas o heces).

Se pueden realizar reconstrucciones multiplanares y en tres dimensiones que pueden proporcionar una información valiosa.<sup>4,25,41</sup> Por su mayor definición permite reducir la dosis de contraste utilizada obteniendo unas imágenes de buena calidad, lo cual puede ser una ventaja en pacientes con función renal comprometida.<sup>25</sup>

Principales complicaciones/limitaciones: requiere la exposición de radiación ionizada, el uso de medios de contraste intravenosos, y la necesidad de sedación o anestesia general.<sup>4,25</sup> Las diferentes partes del tracto urinario se opacifican en distintos tiempos (el parénquima renal inmediatamente después de la administración del contraste vs uréteres aproximadamente a los tres minutos en perros), para evaluar el tracto por completo, en sus diferentes fases, o la longitud completa de los uréteres será necesario realizar una UE.

### 2.3.2 Urografía excretora o pielografía intravenosa.

Toma secuencial de imágenes después de administrar un medio de contraste yodado, estéril, soluble en agua, iónico o no iónico, mayoritariamente por vía intravenosa, el cual se distribuye principalmente a los órganos con mayor perfusión como el riñón.<sup>27,42</sup> EL contraste es filtrado por los glomérulos, provocando una opacificación de los riñones, y excretado por vía renal sin reabsorción a nivel tubular, provocando la opacificación de la pelvis renal, uréteres y vejiga de la orina.<sup>24,27</sup>

Se puede realizar con diferentes modalidades de imagen, como la radiografía (RUE), la TC (TCUE), la fluoroscopia (FUE) y la resonancia magnética (medicina humana). Siendo las dos primeras las más utilizadas, aunque la TCUE proporciona una mayor resolución espacial y temporal, sin superposición de estructuras, ofreciendo una mayor información sobre la anatomía renal y la unión ureterovesical.<sup>40,41</sup> Reservándose la FUE principalmente cuando esta técnica se realiza para intervencionismo.<sup>41,43,44</sup>

Indicaciones: permite evaluar la morfología renal (tamaño, forma, posición, densidad), pelvis renal, y uréteres (tamaño, forma, posición e inserción).<sup>28,41</sup> De gran importancia en causas traumáticas renales y uretrales, y en el diagnóstico de uréteres ectópicos.<sup>25,45</sup> También permite una evaluación subjetiva, no cuantitativa, de la función renal,<sup>1,28,41</sup> y ayuda a determinar el mecanismo patofisiológico del fallo renal, diferenciando entre un daño renal agudo, disfunción renal crónica, displasia renal, en

función del momento de opacificación, persistencia o duración del contraste a nivel renal y de las características morfológicas del riñón.<sup>28,41</sup>

Se ha descrito el uso de la TCUE dinámica con contraste para calcular el ratio de filtración glomerular (RFG) en perros, gatos, conejos y cerdos.<sup>16,41,43,46-48</sup>

***Principales ventajas:*** permite la evaluación completa del tracto urinario, evaluando diferentes fases, durante la filtración y excreción del contraste. La TCUE es la modalidad de imagen más sensible para el diagnóstico de uréteres ectópicos.<sup>7,24,49-52</sup>

***Principales complicaciones/limitaciones:*** efectos adversos asociados a la administración de contraste intravenosos.<sup>25</sup> No se puede realizar en pacientes con fallo renal, deshidratación, hipotensión o hipersensibilidad conocida al medio de contraste.<sup>25</sup> Necesidad de sedación o anestesia, y radiación.<sup>25,41</sup>

### **2.3.3 Pielografía percutánea anterógrada.**

Se realiza una pielocentesis del riñón afectado, guiada por ecografía o fluoroscopia, la aguja se inserta en la pelvis renal, la orina de la pelvis se drena, y se inyecta el medio de contraste directamente en la pelvis, el cual tienen que descender inmediatamente por el uréter hasta la vejiga de la orina.<sup>28,29,53</sup> Proporciona una opacificación excelente del sistema colector y de la inserción de los uréteres, al administrar el medio de contraste directamente en la pelvis este no se diluye, y su presencia no depende de la función renal.<sup>25,29,41</sup>

***Indicaciones:*** pacientes que producen un urograma excretor inadecuado o pacientes en los cuales la administración de contraste intravenosa está contraindicada (por ejemplo, pacientes con fallo renal).<sup>28,29,41</sup> Su interpretación es similar a la fase excretora de la UE.<sup>41</sup>

Su uso diagnóstico en conejos solo ha sido descrito a nivel experimental en obstrucciones uretrales unilaterales parciales, a las 24 horas y 10 días post obstrucción.<sup>29</sup>

Cuando se compara con la RUE, el urograma tienen una mayor opacidad con la PPA, aunque solo es capaz de detectar el 80% de las obstrucciones a las 24 horas (vs el 100% con la RUE) y en el 20% de los casos se observa medio de contraste en la cavidad abdominal. A los 10 días post obstrucción ambas técnicas detectan con la misma eficacia la obstrucción uretral.<sup>29</sup> Además, en comparación con la RUE, la determinación del área obstruida se realiza de una forma más rápida con la PPA. Técnicamente es más difícil de realizar y puede provocar fallos en el diagnóstico en ausencia de dilatación de la pelvis renal en obstrucciones uretrales agudas.<sup>29</sup>

En cobayas, especie con características anatómicas y fisiológicas similares a los conejos, existe un estudio clínico de su uso para el diagnóstico de obstrucciones uretrales.<sup>54</sup> El cual describe una mejor localización del cálculo en comparación con la UE convencional, una diferenciación más efectiva de las obstrucciones parciales y completas, sin interferencia del gas del tracto gastrointestinal en la capacidad diagnóstica de la prueba.<sup>54</sup> Se describen pocas complicaciones asociadas a la técnica, aunque se identificaron fugas de contraste en el 33,30% de los casos, pero en ningún caso afectando la capacidad diagnóstica de la PPA.<sup>54</sup> La limitación principal del estudio fue la inserción de la aguja en la pelvis renal por su mínima dilatación (2 mm media, 2 – 4 mm rango), y el pequeño tamaño renal.<sup>54</sup> El estudio enfatiza otra ventaja frente a la UE convencional, y es la posibilidad de realizarse en pacientes en los cuales la cateterización venosa no es posible por su pequeño tamaño.<sup>54</sup>

***Principales ventajas:*** cada pelvis renal y uréter puede ser evaluado individualmente, permitiendo una mayor detección de pequeños cambios.<sup>25</sup> De especial interés en casos en que se sospeche que la obstrucción renal pueda ser causada por una causa diferente a cálculos, por ejemplo, constricciones.<sup>53</sup> Elimina el riesgo de reacciones sistémicas causadas por el medio de contraste, como hipotensión o fallo renal.<sup>28</sup> Se puede realizar en pacientes azotémicos sin pérdida de la calidad de la imagen,<sup>25, 29</sup> y permite la obtención de una muestra de orina directamente de la pelvis renal para su análisis, de gran utilidad ya que la orina localizada en la vejiga no es representativa de la orina de un riñón obstruido.<sup>25,53</sup>

***Principales complicaciones/limitaciones:*** no proporciona información sobre la fase de nefrograma.<sup>41</sup> Se necesita una distensión mínima para poder realizar el

procedimiento, la mayoría de las fuentes bibliográficas de pequeños animales indican que la dilatación mínima de la pelvis debe ser de 4 – 5 mm,<sup>25</sup> aunque hay descripciones de su uso con una dilatación inferior. No se puede realizar en pacientes con coagulopatías.<sup>25</sup>

Las principales complicaciones están relacionadas con el método de administración del contraste: daño directo durante la inserción de la aguja, laceración de la pelvis renal, obstrucción temporal por formación de hematoma, hemorragia subcapsular o perinefrítica, hematuria, uroabdomen, uroretroperitoneo, o fugas del contraste de la pelvis renal (que pueden interferir en la capacidad diagnóstica),<sup>25,28,29,41</sup> diseminación de infecciones en casos de pielonefritis, o perforación de estructuras adyacentes (no renales).<sup>25,41,54</sup> Estudios más antiguos describen un ratio de complicaciones del 44% en gatos, siendo el 28% complicaciones mayores que impiden el diagnóstico.<sup>28,55</sup> Aunque estudios más recientes en perros y gatos, determinan un ratio de diagnóstico más elevado, con un menor número de complicaciones (30%, siendo únicamente el 3% las que limitan la capacidad diagnóstico).<sup>53</sup>

### 2.3.4 Cistografía retrógrada.

El contraste se administra directamente en la vejiga de la orina realizando una cate-  
terización uretral. Es una técnica fácil, simple y de bajo coste que proporciona infor-  
mación diagnóstica muy valiosa.<sup>24</sup>

*Indicaciones (positiva, negativa, doble):* permite la visualización de la vejiga de la orina, una mayor valoración de la integridad de la pared, su grosor y contorno, y evaluar anomalías intraluminales como cistolitos o masas.<sup>41</sup> Debemos evaluar la marginación, forma, localización de la vejiga y la ausencia de extravasación de medio de contraste.<sup>41</sup> Con el uso de contraste positivo y negativo la distribución del contraste tiene que ser homogéneo y se debe distribuir por toda la vejiga urinaria. Cuando realizamos doble contraste, el contraste positivo se deposita en la parte de-  
pendiente.<sup>24,41</sup>

Las anomalías incluyen: irregularidades en la mucosa (focales o difusas, compatibles con cistitis, neoplasias o hematomas), engrosamientos intramurales (focales o difusos, compatibles con inflamación, fibrosis, hemorragias/hematomas, y neoplasias), defectos de llenado (pueden ser móviles compatibles con cálculos, burbujas de gas o coágulos; o estar adheridos, compatibles con neoplasias, coágulos de sangre, cálculos adheridos, o ureteroceles), divertículos de la vejiga (pueden ser adquiridos o congénitos, como por ejemplo los divertículos vesicouracales), extravasación de contraste, reflujo vesicouretral (se puede observar en animales sanos, de forma más frecuente en animales  $\leq 3$  meses de edad, por causas iatrogénicas por aumentos de la presión intravesical, o estar asociado a cistitis, obstrucciones del tracto urinario, enfermedades neurológicas, o anomalías ureterales congénitas).<sup>24,41</sup>

La cistografía de contraste negativo o neumocistografía es principalmente útil para determinar el grosor de la pared, masas en la vejiga y uréteres ectópicos, la de contraste positivo para determinar anomalías en la mucosa y en el lumen, ruptura de la vejiga, localizar vejiga de la orina (por ejemplo, en hernias perineales), comunicaciones anormal de la vejiga con estructuras adyacentes, y la de contraste doble para la detección de cálculos radiolúcidos, siendo más precisa que la ecografía en determinar su tamaño, para detectar tumores o pólipos o cistitis crónica.<sup>24,41</sup>

Aunque es una técnica utilizada en la clínica diaria en conejos no existen estudios clínicos sobre su uso, pero disponemos de un estudio describiendo la anatomía de la vejiga de orina con cistografía retrograda positiva, negativa y doble.<sup>56</sup>

***Principales ventajas:*** la ecografía y radiografía abdominal pueden tener limitaciones en determinar la posición de la vejiga urinaria en pacientes con masas intraabdominales, perineales y retroperitoneales, sobre todo en los casos que estas tengan un contenido líquido. La cistografía de contraste diferencia fácilmente la vejiga y permite evaluar cualquier comunicación entre la masa y la vejiga.<sup>41</sup>

***Principales complicaciones/limitaciones:*** el contenido del intestino grueso puede limitar la visualización.<sup>56</sup> Las complicaciones son poco frecuentes, y generalmente asociadas con la cateterización uretral, y la necesidad de sedación o anestesia

general.<sup>24,41</sup> Incluyen, trauma iatrogénico de la vejiga urinaria o de la uretra y contaminación bacteriana.<sup>41</sup> Otras menos frecuentes son acumulo de medio de contraste intramural y embolización fatal por gas en casos de neumocistografías.<sup>41</sup>

En conejos se debería añadir un trauma iatrogénico de la glándula vesicular o vesícula seminal, ya que durante una cateterización uretral con la técnica a ciegas en el 36,40% de las cateterizaciones la punta de la sonda se desvía hacia dicha glándula en vez de al interior de la vejiga de la orina.<sup>9</sup> Para prevenir la cateterización de la glándula vesicular podemos aplicar la técnica de presión digital, que consiste en hacer presión con el dedo pulgar caudalmente en la sínfisis púbica durante la cateterización uretral.<sup>9</sup>

### 2.3.5 Uretrografía / vaginouretrografía retrógrada.

El contraste se administra directamente en la parte más distal de la uretra a través de su cateterización en machos o directamente en la vagina en hembras. Es una técnica fácil, simple y de bajo coste que proporciona información diagnóstica muy valiosa, siendo la técnica de elección para evaluar la uretra.<sup>24</sup>

La uretra en hembras es más corta y generalmente más larga, en machos es más larga y estrecha, dividida en tres partes, prostática, membranosa y peneana, siendo la última la más pequeña en diámetro.<sup>24</sup> Para su completa evaluación, se debe incluir la pelvis y uretra completa, y realizar proyecciones radiográficas con las extremidades extendidas caudal y cranealmente.<sup>24</sup>

**Indicaciones:** permite detectar defectos de llenado intraluminales (secundarios a cálculos, coágulos de sangre o burbujas de aire), irregularidades en la mucosa (inflamación, pólipos o neoplasias), constricciones, extravasación de contraste (ruptura ureteral) o la presencia de fistulas uretrovaginales o uretrorectales.<sup>24,41</sup> La uretra normal tiene unos márgenes lisos y debemos poder evaluar toda su longitud.

Existen pocos estudios en conejos, centrados únicamente en el campo de la investigación.<sup>57,58</sup>



Principales complicaciones/limitaciones: trauma, ruptura o laceración de la uretra, vagina o vestíbulo. Siempre se debe realizar una técnica estéril para prevenir complicaciones bacterianas.<sup>41</sup>

### 2.3.6 Otras técnicas de imagen.

#### - *Uroendoscopia*

La evaluación endoscopia del tracto urinario inferior es una herramienta importante cuando se realizan terapias de intervencionismo. Suele realizarse como complemento a las técnicas de imagen con contraste.<sup>41</sup> Recientemente se ha descrito un estudio de ureteroscopia percutánea en perros con un endoscopio rígido y asistido por fluoroscopia, para evaluar la uretra pélvica en perros.<sup>59</sup>

Permite la toma de biopsias de lesiones y realizar intervenciones terapéuticas, cómo extracción/litotripsia de cálculo o ablación con láser en casos de uréteres ectópicos, y realizar pielografías retrogradas (en la cual el contraste se introduce directamente en los uréteres, siendo el tamaño del animal el principal factor limitante).<sup>28,41,43</sup>

Las complicaciones principales son la ruptura de la vejiga o perforación de la uretra,<sup>41</sup> y las principales limitaciones la experiencia del operador y la imposibilidad de evaluar el tracto urinario superior para evaluar enfermedades concurrentes como hidronefrosis, hidrouréteres o pielonefritis.<sup>49</sup>

Existen pocas descripciones de su uso en conejos, únicamente una descripción en dos casos con cistitis polipoide, y durante la colocación de stents uretrales en casos de obstrucciones por cálculos.<sup>43,60,61</sup> Por lo contrario, su uso en cobayas esta más extendido, principalmente para la extracción de cálculos como técnica alternativa a la cistotomía.<sup>62</sup> En esta especie solo se puede realizar en hembras adultas, por el tamaño de la uretra y la facilidad de acceso a la uretra. En cobayas hembras la apertura uretral se localiza externamente a la vagina.<sup>62</sup>

- *Resonancia magnética*. Se utiliza en medicina humana para evaluar masas renales, perfusión y función renal, y estudios urográficos, proporcionando un contraste de tejidos blandos superior.<sup>7</sup> Su uso no está muy descrito en medicina veterinaria,<sup>7</sup> aunque existen descripciones para la determinación del RFG en perros y conejos<sup>63,64</sup> y para evaluar la vascularización renal en perros.<sup>65</sup> Las ventajas y limitaciones son similares a la TC, pero su uso está limitado por el coste, disponibilidad y duración del estudio.<sup>25</sup>
- *Gammagrafía*. Prueba de función renal, permite determinar la contribución relativa de cada riñón a la función renal total.<sup>7,25</sup> El radioisótopo más utilizado es el tecnecio-99m, el cual se filtra en el glomérulo sin reabsorción tubular y se puede utilizar para determinar el RFG.<sup>7,47</sup> La mayor desventaja es la poca disponibilidad, el equipo necesario, la radiación para el paciente y los operadores, y la necesidad de aislamiento del paciente.<sup>7</sup> En conejos principalmente se utiliza en estudios de investigación, existen estudios describiendo la determinación del RFG.<sup>7</sup>

De las diferentes modalidades de imagen disponibles para la evaluación del tracto urinario, tiene especial interés la UE, por su amplio uso en medicina de perros y gatos, ya que permite evaluar todo el tracto urinario.<sup>28,41</sup>

Para poder aplicar su uso en otras especies, es necesario un conocimiento profundo de la técnica, teniendo en cuenta que antes de que cualquier técnica pueda convertirse en una modalidad de diagnóstico eficaz, se deben caracterizar los parámetros normales específicos de la especie.

### 3. UROGRAFÍA EXCRETORA

Permite una evaluación completa del tracto urinario, ofreciendo la información más detallada sobre el parénquima renal y la inserción de los uréteres, aunque la evaluación del tracto urinario inferior (vejiga de la orina y uretra) es menos precisa que con la cistouretrografía retrograda.<sup>7</sup> Es la modalidad de imagen de elección para la detección de uréteres ectópicos.<sup>24,45,40,51</sup> y para causas traumáticas (desgarros o rupturas de la cápsula renal o uréteres), que provocan fugas de orina al espacio retroperitoneal.<sup>7,24,52</sup>

En casos de necesidad de nefrotomía o nefrectomía, proporciona información cualitativa sobre la función renal y permeabilidad del uréter contralateral,<sup>28</sup> con la posibilidad de cuantificar el RFG con imágenes continuas del riñón.<sup>7,16,41</sup> Es importante no subestimar la función renal del riñón afectado en casos de obstrucción uretral, ya que la presión excesiva retrograda que se produce a nivel del parénquima renal por el acumulo de orina puede disminuir el RFG y por tanto disminuir la cantidad de contraste en el sistema excretor.<sup>7,41</sup>

Existen tres factores que afectan a la calidad del estudio, la filtración glomerular, la habilidad de concentración renal, y el estado de hidratación del paciente. El medio de contraste es filtrado pasivamente por los glomérulos, por lo que cualquier reducción en la filtración disminuye la cantidad de contraste excretado, disminuyendo la densidad del urograma. La habilidad de concentración renal es vital ya que la reabsorción de agua que se produce en los túbulos incrementa la densidad de contraste en el riñón y uréteres. Por último, la hidratación del paciente es esencial para asegurar una correcta perfusión renal, filtración glomerular y habilidad de concentración a nivel renal.<sup>28,66</sup>

#### 3.1 Técnicas y modalidades de imágenes.

Como anteriormente se ha descrito, el estudio se puede realizar utilizando diferentes modalidades de imagen. Su elección dependerá de su disponibilidad y de la patología exacta a diagnosticar. Por ejemplo, la TC ha demostrado una mayor sensibilidad en la detección de uréteres ectópicos en perros que la radiografía o la fluoroscopia.<sup>41,49</sup>

La principales ventajas e inconvenientes de las diferentes modalidades son:

- Radiografía. Su principal ventaja es su disponibilidad. Requiere una preparación óptima de los pacientes (ayuno, enemas, compresiones abdominales) para intentar mejorar la visualización de todas las estructuras del tracto urinario.<sup>28</sup> Aunque el uso de contraste aumenta la visualización del tracto urinario, tiene una resolución espacial y de contraste limitada, con superposición de estructuras abdominales.<sup>25</sup>
- Tomografía computarizada. Requiere una menor preparación del paciente, sin necesidad de realizar enema o neumocistografía para mejorar la visualización de la inserción de los uréteres. Proporciona un detalle superior, especialmente del parénquima renal y de la terminación de los uréteres, sin superposición de otras estructuras, por su mayor resolución temporal y espacial.<sup>24</sup> Mayor sensibilidad comparando con la radiografía y la fluoroscopia para el diagnóstico de uréteres ectópicos.<sup>49</sup> En medicina humana ha reemplazado de forma marcada el uso de la REU.<sup>67</sup> Se pueden utilizar dosis menores de contraste (400 mgI/kg en perros) por su mayor definición.<sup>41,51</sup> Permite la evaluación completa de los uréteres, aunque su peristaltismo causa defectos de llenado intermitentes en su interior, provocando una visualización inconsistente y obligando a realizar múltiples escáneres para su completa evaluación, lo que provoca mayor dosis de radiación y tiempo de anestesia.<sup>40</sup> Existen diferentes métodos para mejorar la visualización de los uréteres como el uso de furosemida<sup>40</sup> o realizar escaneos con la técnica de seguimiento del bolo o “bolus tracking technique”.<sup>68</sup> Se pueden realizar reconstrucciones en tres dimensiones y multiplanares para una mayor evaluación,<sup>24,49</sup> o reconstrucciones utilizando únicamente las proyecciones de máxima intensidad, lo que ayuda a definir estructuras más pequeñas, aumentando el potencial diagnóstico de la TCUE.<sup>69</sup>

Recientemente se ha descrito el uso de la TC en 4 dimensiones, este tipo de escáneres de última generación permiten evaluar el área con series continuas de imágenes helicoidales en direcciones caudales y craneales.<sup>44</sup> Con una sensibilidad y especificidad superior al TCUE convencional (97% y 94,60% vs 73% y 90,20%, respectivamente) para el diagnóstico de uréteres ectópicos.<sup>44</sup>

En medicina humana se han desarrollado diferentes protocolos de TCUE con el objetivo de optimizar la técnica y disminuir la dosis de radiación efectiva que reciben los pacientes.<sup>70</sup> Dentro de éstas, la aplicación de un bolo de contraste intravenoso fraccionado (split-bolus technique) en diferentes tiempos y realización posterior de una sola adquisición de imágenes, sincronizando las fases nefrográfica y pielográfica, ha demostrado ser una alternativa viable. Recientemente esta técnica ha sido estudiada en perros Beagle.<sup>70</sup> Demostrando que un TCUE fraccionado (70 – 30% de la dosis total) permite evaluar el tracto urinario, con un realce del parénquima renal suficiente, y una distensión y opacificación de los uréteres apropiada, similar a la TCUE en tres fases, pero reduciendo la exposición a la radiación que reciben los pacientes y el número de imágenes necesarias para la interpretación de la TCUE.<sup>70</sup>

- *Fluoroscopia*. Su principal limitación es su disponibilidad y menor detalle del parénquima renal. Su principal ventaja es la visualización del urograma dinámico y a tiempo real. Principalmente su uso está descrito en radiología intervencionista, como colocación de stents o realización de pielografías retrógradas.<sup>43,44,71</sup>

### 3.2 Procedimiento.

El primer paso para obtener un urograma de buena calidad y disminuir los efectos adversos, es la preparación adecuada del paciente.<sup>28</sup>

- Evaluación de la función renal, mediante la realización de pruebas sanguíneas y análisis de orina; y del estado de hidratación del paciente.<sup>25,28</sup> Algunos autores recomiendan la administración de fluidoterapia a 10 mL/kg/h.<sup>1,24</sup>
- Evaluar la presión arterial, previa y post administración del contraste, ya que uno de los efectos adversos de la administración parenteral de contrastes yodados es la hipotensión.<sup>28</sup>
- El tracto gastrointestinal, especialmente el colon no debe contener ingesta. El tiempo de ayuno indicado dependerá de la especie a estudio, en el caso de perros

y gatos se aconseja un ayuno de 12 a 36 horas.<sup>7,24,25,28,72</sup> Aunque en herbívoros, por su fisiología digestiva, no se recomienda. El uso de enemas previos al estudio también está recomendado con el mismo fin.<sup>7,24,25,28,72,73</sup> En perros se recomienda como mínimo la realización de un enema con agua templado 2 horas antes de la realización del estudio.<sup>73</sup> Si el estudio se realiza con TC el uso de enemas, aunque pueden ayudar, es menos crucial que con modalidades más convencionales como la radiología.<sup>41</sup>

- Realizar una neumocistografía para mejorar la visualización de la inserción de los uréteres a la vejiga de la orina.<sup>7,24,28</sup> Se recomienda instilar 5 mL/kg de aire en la vejiga urinaria previa cateterización uretral.<sup>7</sup> De especial interés si se realiza el estudio con radiografía tradicional.<sup>24</sup>
- Posicionamiento paciente, variable en función de la técnica utilizada y del objetivo del estudio. Generalmente se aconseja colocar el animal en decúbito esternal para realizar estudios con TC. En radiografías y fluoroscopia se realizan cambios de posicionamiento seriados del paciente, posición ventrodorsal, lateral derecha y oblicuas para mejorar la visualización de la inserción de los uréteres.<sup>28,41</sup> Algunos autores recomiendan elevar la pelvis caudalmente para mejorar la visualización de la unión ureterovesical en TCUE.<sup>24,25,74</sup> La orina con contraste yodado tiene una densidad mayor que la orina normal, por lo que se depositará en la porción dependiente de la vejiga de la orina. Cuando el animal se posiciona en decúbito esternal, se puede observar el jet de orina, desde la papila ureteral, posicionada en la pared dorsal de la vejiga, hacia la parte dependiente de la vejiga, facilitando su identificación. Aunque, cuando el contenido de contraste en la vejiga es elevado, el cuello de la vejiga se llena de contraste, no permitiendo observar el jet de orina. Elevando la pelvis caudalmente se pretende conseguir que la orina se acumule en el ápex de la vejiga, alejado del cuello, permitiendo la observación del jet de orina durante más tiempo.<sup>44</sup> No obstante, un estudio reciente,<sup>44</sup> ha demostrado que elevar la pelvis con un ángulo de 10° no mejoró la visualización de los uréteres ectópicos.
- Compresión del abdomen caudal con vendajes, recomendado por algunos autores para mejorar la definición de la unión ureterovesical.<sup>4,27,41,72</sup> Con esta compresión

se puede retrasar la llegada del contraste a la vejiga de la orina, lo que mejora la visualización de la pelvis renal y los uréteres.<sup>27,72</sup> El uso de vendajes crea un factor de variabilidad por la compresión uretral, provocando que no se pueda evaluar el tamaño ureteral y de la pelvis renal, o la progresión normal del urograma.<sup>66</sup>

El estudio se realiza administrando un bolo de contraste yodado, estéril, soluble en agua, iónico o no iónico. Aunque el medio de contraste generalmente se administra por vía intravenosa por una vía periférica cateterizada,<sup>28</sup> existen otras vías de administración descritas, principalmente la vía intraósea y en casos puntuales la vía subcutánea, incluso en estudios más antiguos la vía intracardiaca, ya en desuso por su invasibilidad.<sup>75</sup>

La administración intraósea se utiliza cuando las técnicas tradicionales de cateterización vascular no son posibles por el pequeño tamaño del paciente, colapso hemodinámico, trauma, quemaduras, edema cutáneo o subcutáneo, trombosis vascular, o sepsis.<sup>76,77</sup> En medicina humana se describe su uso principalmente en niños, y en medicina veterinaria se ha descrito en conejos,<sup>76,77</sup> ardillas<sup>78</sup> y perros.<sup>79</sup> El acceso vascular en este caso se basa en la presencia de venas que no colapsan y drenan en los senos medulares de la médula ósea, los cuales drenan a la circulación venosa central,<sup>76</sup> permitiendo un acceso rápido a la circulación a pesar de una profunda hipovolemia. En medicina veterinaria los accesos de predilección son el fémur, húmero y tibia. La calidad del urograma es la misma que con la administración intravenosa del contraste.<sup>77</sup> Las complicaciones de la infusión intraóseas en medicina humana son raras, e incluyen, osteomielitis, embolización grasa, fracturas, infiltración subperiosteal y subcutáneo, sepsis, celulitis local, fujas por múltiples punciones, y no se aconseja su uso en casos de osteoporosis, osteomielitis o fracturas, entre otras.<sup>76</sup> En conejos, no se han observado signos clínicos asociados a su administración, pero en el 22,70% de los casos se observó osteocronosis en la histología.<sup>77</sup> Las soluciones hipertónicas son más perjudiciales para las placas epifisarias, por lo que se aconseja medios de contraste isotónicos, eligiendo los que tengan una osmolaridad menor.<sup>76</sup> En perros, la infusión de contraste intraósea a una velocidad de 8 mL/min se considera factible, sin embargo, superar los 350 mL predispone al síndrome de compartimentalización.<sup>79</sup>

La vía subcutánea, descrita en ardillas,<sup>75,78</sup> se reserva para aquellas especies en las cuales la cateterización es difícil o imposible.<sup>75</sup> Pero con esta vía de administración la calidad del urograma se ve afectada, siendo menor comparada con la vía intraósea.<sup>78</sup> El tiempo de la aparición de las fases es mucho más prolongado, y únicamente se puede evaluar la fase excretora de la UE, al no observarse la fase de nefrograma por esta vía de administración.<sup>75</sup>

Antes de la administración del contraste es esencial realizar un estudio basal o pre-contraste, con diferentes objetivos: obtención de imágenes con medidas de atenuación o densidad pre-contraste para poder comparar con las imágenes con contraste del estudio; detectar algunas patologías como, por ejemplo, pequeños cálculos radiopacos o calcificaciones del parénquima renal que pueden quedar ocultos por el medio de contraste; o comprobar que el tracto gastrointestinal no contenga ingesta.<sup>24,25,80,81</sup> En el caso de la radiología se aconseja realizar una vista lateral derecha, ya que esta nos proporciona la mayor separación longitudinal entre el riñón derecho e izquierdo.<sup>25,28</sup>

Inmediatamente después de la administración de contraste se obtienen imágenes seriadas del tracto urinario.<sup>7,28</sup>

### 3.3 Fases de la urografía excretora.

Se pueden diferenciar cuatro fases durante la urografía excretora (Figura 4):<sup>25,41,82</sup>

- Fase vascular o ortograma intravenoso. Fase poco descrita en la bibliografía.<sup>41</sup> Se observa inmediatamente después de la administración del medio de contraste, muestra el contorno de las arterias abdominales y torácicas, incluyendo las arterias renales.<sup>25,41,66,83,84</sup>

*En perros ocurre aproximadamente a los 5 – 7 segundos después de la administración del contraste,<sup>41</sup> en medicina humana a los 5 – 10 segundos,<sup>86</sup> o 10 – 15 segundos<sup>82</sup> (según estudio consultado o técnica realizada).*



- *Fase nefrográfica.* Se caracteriza por un realce homogéneo del parénquima renal después de la administración de contraste.<sup>25,28,41,66,80,84</sup> Es la fase más útil para la evaluación del contorno, tamaño y forma de los riñones, siendo esencial en casos de masa renales o hidronefrosis,<sup>28,80,83</sup> y en casos de enfermedad renal estructural y funcional.<sup>80,81,85</sup>

La fase nefrográfica se subdivide en dos subfases:

- *Fase corticomedular.* Es la primera y más corta, durante la cual el contraste se observa en los capilares corticales, en el espacio peritubular y en la lámina tubular cortical. El córtex renal tiene un realce marcado durante esta fase, y fácilmente se puede diferenciar la medula renal, la cual aparece sin realce. Durante esta fase el contraste no ha sido filtrado por los túbulos renales más distales.<sup>80,85-87</sup>

*En perros se inicia a los 10 segundos,<sup>41</sup> o entre los 10 y 30 segundos,<sup>88</sup> y en humana a los 15 – 25 segundos,<sup>86</sup> 20 – 45 segundos,<sup>82</sup> 25 – 70 segundos,<sup>80</sup> 25 – 80 segundos,<sup>89</sup> o 30 – 70 segundos<sup>81</sup> (según estudio consultado o técnica realizada).*

- *Fase medular o tubular.* A medida que el medio de contraste es filtrado por los glomérulos renales hacia el asa de Henle y los túbulos colectores, se inicia el realce de la fase medular o tubular.<sup>85,87</sup> El parénquima renal se opacifica de forma homogénea, dando la oportunidad de discriminar entre el parénquima renal medular y masas.<sup>80</sup>

*En perros no se ha descrito su inicio. En medicina humana tiene una mayor visualización entre los 50 y 55 segundos,<sup>86</sup> a los 90 segundos,<sup>89</sup> entre 80 segundos y 3 minutos,<sup>80</sup> o entre 45 segundos y 2 minutos<sup>82</sup> (según estudio consultado o técnica realizada).*

*En perros la fase nefrográfica empieza a desvanecerse a los 3 minutos,<sup>41</sup> y solo en < 25% de los casos es aún detectable a las 2 horas de la administración del contraste.<sup>84,90</sup>*

- Fase pielográfica. Esta fase se caracteriza por la opacificación de la pelvis renal, divertículos y uréteres, que se produce durante la excreción del medio de contraste.<sup>25,27,28,41,80</sup> El pielograma tiene una opacificación mayor que el nefrograma, secundario a la reabsorción de agua que se produce a nivel de los túbulos renales.<sup>41</sup> La pelvis renal es curvilínea (2 mm en perros), los divertículos aparecen como picos delgados de 1 mm, que irradian desde la pelvis hacia la periferia.<sup>25</sup> Ni la pelvis ni los divertículos deben tener bordes redondeados o estar distendidos. Los uréteres con un tamaño medio variable entre las especies (perros tamaño < a 2-3 mm; gatos tamaño no descrito pero debería ser < a 1 mm,<sup>25,41</sup> y conejos tamaño medio de  $2 \pm 1$  mm<sup>4</sup>), se insertan en la parte dorsal de la vejiga de la orina, donde se curvan cranealmente con un trayecto corto, antes de entrar en la pared.<sup>25</sup> Suele observarse opacificación intermitente de los uréteres por su peristaltismo.<sup>4,24,25,28,41</sup> Fase útil para localizar masas en el sistema colector, definir la afectación de los divertículos y pelvis renal, y evaluar alteraciones ureterales.<sup>80</sup> A medida que el medio de contraste es excretado, el grado de realce en la fase de nefrograma disminuye progresivamente.<sup>80</sup>

*En perros se inicia entre 1 – 2 minutos post-contraste,<sup>84</sup> con una mayor opacidad entre 5 – 45 minutos,<sup>24</sup> en humana se inicia a los 2 – 3 minutos,<sup>82</sup> o 3 minutos.<sup>80,81,89</sup> En perros la fase pielográfica se considera atrasada si no se produce en los tres primeros minutos.<sup>84</sup>*

- Fase cistográfica. Se caracteriza por la llegada del contraste a la vejiga de la orina. Permite observar la morfología de la vejiga, diferenciando el cuello, con una opacificación menor, del cuerpo.<sup>5</sup>

*El inicio de esta fase no está descrito de forma consistente en la bibliografía, en humana se describe una mayor visualización a los 20 minutos.<sup>81</sup>*

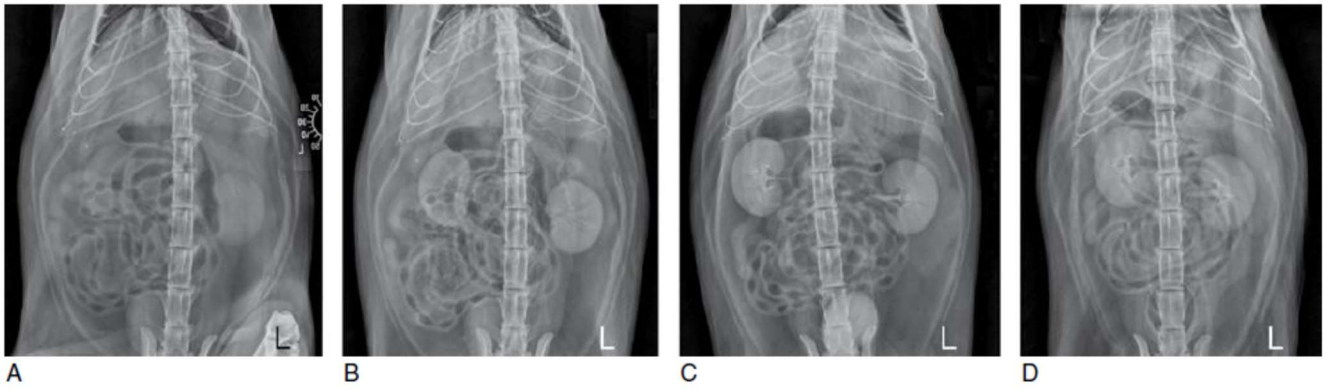


Figura 4. Fases normales de la urografía excretora, radiografías ventrodorsales en pequeños animales. A – Imágenes basales pre-contraste. B – Fase vascular e inicio de la fase nefrográfica, imagen obtenida a los 12 segundos post-contraste. C – Fase pielográfica, imagen obtenida a los 5 minutos post-contraste. Se observa la presencia de contraste en pelvis renal, divertículos y uréteres proximales, con una opacificación mayor al parénquima renal. D – Fase pielográfica, imagen obtenida a los 30 minutos post-contraste. Persistencia del pielograma y disminución de la opacificación del nefrograma.

Fuente bibliográfica: Habing AM, Byron JK. Imaging of the urinary tract. In: Weisse C, Berent A, eds. Veterinary image-guided interventions, 2015.

La producción de un urograma normal, con una progresión temporal de las fases, requiere una compleja interacción entre la perfusión renal, la filtración glomerular normal, función tubular y ausencia de obstrucciones en el tracto urinario. Alteraciones en estos procesos producirán anomalías cuantitativas o cualitativas.<sup>80</sup>

### 3.4 Interpretación de la urografía excretora.

En animales sanos, las fases de excreción del contraste son simétricas, en tiempo, apariencia, densidad y desaparición. En casos de asimétrica, el lado retardado es el patológico.<sup>89</sup> A continuación se detalla las principales anomalías del urograma.

- Fase vascular:
  - o Vasos irregularmente desviados compatibles con neovascularización en casos de carcinomas renales.<sup>66</sup>

- Fase nefrográfica:

- o Ausencia global del nefrograma (Figura 5). Falta difusa de opacificación o realce del riñón. Puede estar causada por aplasia renal, obstrucción de la arteria renal, tejido renal no funcional, nefrectomía, dosis insuficiente de contraste.<sup>28,41,80,89</sup> La causa más frecuente es la isquemia renal secundaria a una oclusión de la arteria renal por: trauma (daño en el pedículo vascular), enfermedad tromboembólica, o disección de la arteria renal (espontánea, traumática o iatrogénica).<sup>85</sup>

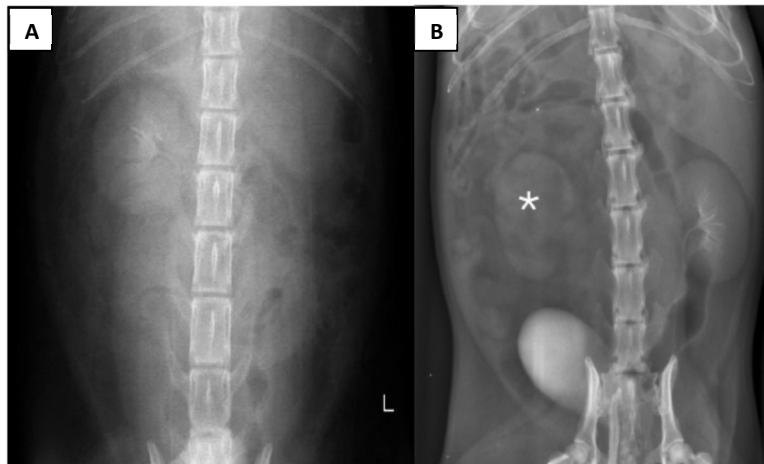


Figura 5. A – Radiografía ventrodorsal de una urografía excretora (UE) de un gato con compromiso vascular renal, secundario a trombosis de la arteria renal y/o avulsión. Se puede observar la falta de opacificación del nefrograma y pielograma izquierdo. B – Radiografía ventrodorsal de una UE en un hurón. Se puede observar la falta de opacificación del nefrograma y del pielograma derecho.

Fuentes bibliográficas: (A) Habing AM, Byron JK. Imaging of the urinary tract. In: Weisse C, Berent A, eds. *Veterinary image-guided interventions*, 2015. (B) Di Girolamo N, Selleri P. *Medical and Surgical Emergencies in Ferrets*. *Vet Clin North Am Exot Anim Pract*, 2016

- o Ausencia segmental del nefrograma o nefrograma no uniforme.<sup>80</sup>

La opacificación focal no uniforme puede ser secundaria a: (Figura 6)

- Procesos renales que ocupan espacio, desplazan o remplazan el parénquima renal, como neoplasias, hematomas, quistes o abscesos.<sup>28,41,80,82,85</sup>

- Cambios hemodinámicos locales en arterias más periféricas que la arteria renal.<sup>80</sup>
- Infartos renales focales, secundarios a émbolos arteriales, trombosis arteriales o venosas, vasculitis y shock séptico. Se observan como una zona sin realce en forma de cuña bien delimitado (según los vasos que estén ocluidos).<sup>28,41,80,85</sup>

La opacificación multifocal no uniforme se observa en enfermedad glomerular crónica generalizada, enfermedad tubulointersticial, enfermedad poliquística, múltiples infartos, o en casos de peritonitis infecciosa felina.<sup>28,41</sup>

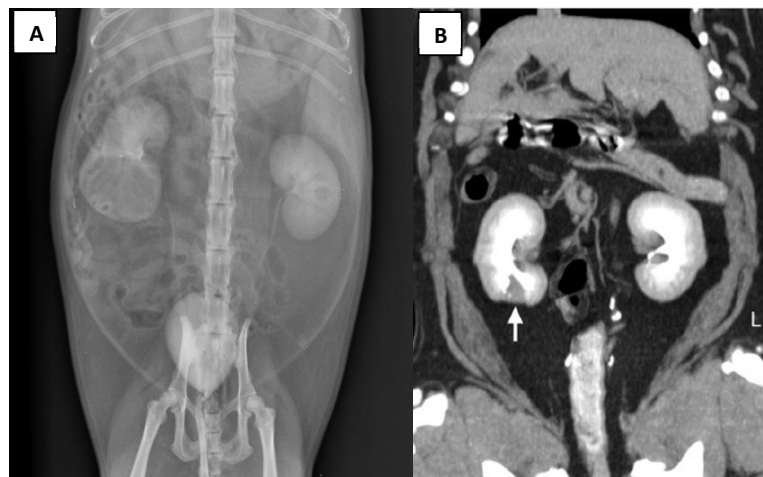


Figura 6. A – Radiografía ventrodorsal de una urografía excretora (UE) en un hurón, realizada a los 5 minutos post-contraste. Se puede observar nefromegalia derecha, con una ausencia focal del realce del nefrograma en el polo caudal renal, compatible con un quiste renal. B – Corte coronal de una UE realizada con tomografía computarizada en un perro. Podemos observar una región triangular sin realce en el polo caudal del riñón izquierdo, compatible con un infarto renal crónico.

Fuente bibliográfica: (A) Vilalta L, Espada Y, Martorell J. Diagnostic uses of excretory urography in small mammals. *Proceedings in: International Conference on Avian, Herpetological and Exotic Mammal Medicine*, 2022. (B) Habing AM, Byron JK. Imaging of the urinary tract. In: Weisse C, Berent A, eds. *Veterinary image-guided interventions*, 2015.

- o Progresión temporal retardada. Generalmente unilateral, lo observamos en enfermedades que disminuyen el flujo renal o en casos obstructivos, por la presión negativa que provoca la orina retenida.<sup>66,85,80,89</sup> En muchos casos observaremos el nefrograma con una disminución de la opacidad.<sup>66</sup>

- Nefrograma persistente.
  - Unilateral: por estenosis de la arteria renal, trombosis de la vena renal u obstrucción del tracto urinario.<sup>80,85</sup>
  - Bilateral: hipotensión sistémica, obstrucción intratubular, necrosis tubular aguda.<sup>80,85</sup> El daño tubular puede ser debido a la administración de contraste, en humana se sospecha de necrosis tubular aguda inducida por el contraste si el nefrograma persiste más de 24 horas.<sup>80,89</sup>
  
- Múltiples nefrogramas. Compatible con duplicación renal,<sup>28,74</sup> o trasplantes (medicina humana).<sup>28</sup>
  
- Nefrograma en anillo (Rim nephrogram) (Figura 7). Se observa una banda fina (2-4 mm) periférica de opacificación cortical. Es el indicador más específico de compromiso vascular renal y representa la perfusión subcapsular preservada vía flujo colateral de los vasos capsulares, peripélvicos y periuretéricos. Su presencia focal o global está asociada a: infartos renales, trombosis venosa renal, necrosis tubular aguda,<sup>80,85</sup> siendo muy útil para diferenciar entre infartos y pielonefritis.<sup>80,89</sup> El signo “rim-like” se observa en casos de obstrucción crónica. En este caso no es secundario a hipoperfusión como el patrón en anillo, sino que representa la opacificación del parénquima renal residual funcional en casos de dilatación crónica.<sup>80,85</sup> (Figura 8)
  
- Nefrograma en anillo inverso (Figura 7). Se observa realce únicamente en la parte central, en la medula renal, sin realce cortical.<sup>89</sup> Este patrón casi siempre está asociado a una necrosis cortical aguda, una forma rara de fallo renal agudo.<sup>89</sup> Observaremos la corteza renal hipoatenuada rodeando el riñón, adyacente a la cápsula renal, con una medula con realce.<sup>80</sup> La necrosis cortical se puede producir por cualquier causa que provoque una hipotensión sistémica prolongada. En humana principalmente descrito en complicaciones obstétricas, reacciones transfusionales y rechazos de trasplantes.<sup>89</sup>

o Nefrograma estriado (Figura 7). Se observan bandas lineares de atenuación alternante, alta y baja, orientadas paralelas al axis de los túbulos y de los conductos colectores.<sup>80,85,89</sup>

- Causas unilaterales: obstrucción ureteral, pielonefritis aguda, contusiones, trombosis venosa renal.<sup>80,85</sup>
- Causas bilaterales: pielonefritis aguda, obstrucción tubular, hipotensión, enfermedad poliquística renal.<sup>80,82,85</sup>

o Nefrograma moteado (Figura 7). El nefrograma homogéneo es reemplazado por áreas segmentales y subsegmentales sin realce, siendo estas zonas más amorfas que las líneas o bandas que se observan en el patrón estriado. La causa son oclusiones de venas de pequeño calibre.<sup>89</sup>

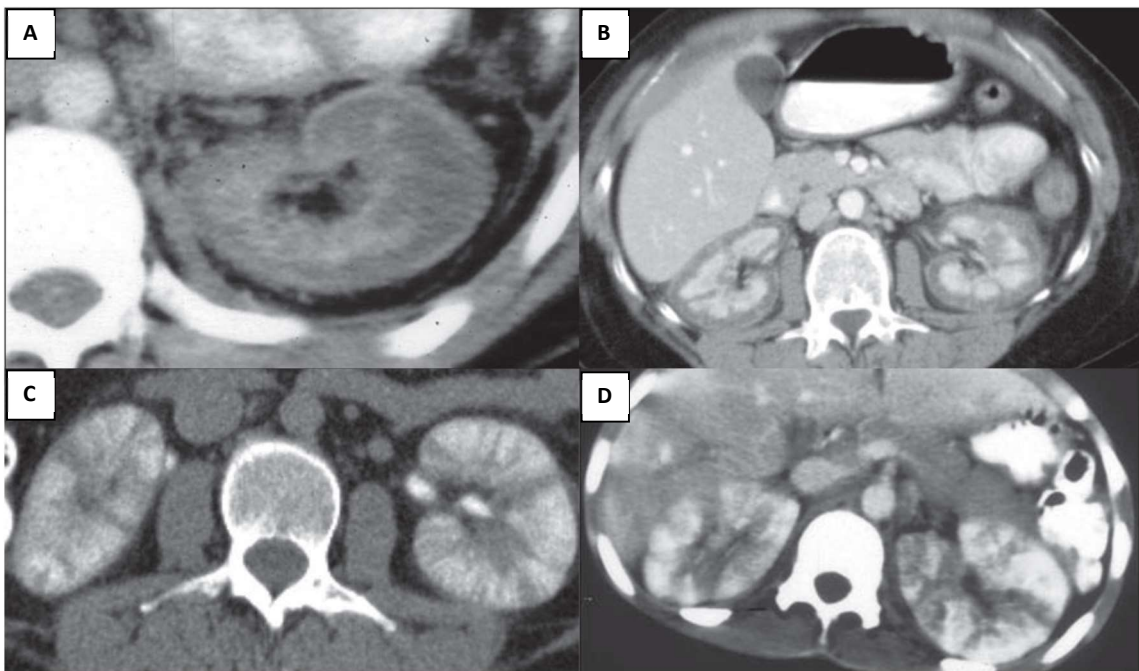


Imagen 7. Diferentes patrones de nefrogramas en medicina humana. A – Nefrograma en anillo. B – Nefrograma en anillo inverso. C – Nefrograma estriado. D – Nefrograma moteado.

Fuente bibliográfica: Wolin EA, Hartman DS, Olson R. Nephrographic and pyelographic analysis of CT urography: principles, patterns, and pathophysiology. *AJR Am J Roentgenol*, 2013.



Figura 8. Corte coronal de una urografía excretora realizada con tomografía computarizada en un perro. Podemos observar el signo "rim-like" en el nefrograma derecho, como una banda fina de opacificación del parénquima renal residual, en este caso de obstrucción ureteral crónica por cálculos.

Fuente: servicio de diagnóstico por la imagen del Hospital Veterinario de referencia de la UCV.

- Fase pielográfica:

- o Progresión temporal retardada. Generalmente suele ser unilateral y la causa más frecuente es la uropatía obstructiva. Obstrucciones en cualquier parte del tracto urinario, aumenta la presión interna en el sistema colector próxima a la obstrucción por la retención de orina, por lo que podemos observar también una disminución del nefrograma por la reducción del RFG.<sup>80</sup>
- o Dilatación de la pelvis renal y los uréteres (Figura 9). Como posibles causas se incluyen inflamación (pielonefritis y uretritis), u obstrucción (hidronefrosis y hidrouréter).<sup>41</sup> Las obstrucciones pueden ser intraluminales (cálculos, coágulos de sangre), murales (neoplasias o constricciones), o extraluminales (neoplasias, constricciones).<sup>91</sup> También se pueden clasificar como agudas o crónicas, estáticas o dinámicas, parciales o completas, y en función de su localización.<sup>91</sup> Siendo las obstrucciones intraluminales causadas por ureterolitos, las más frecuentes en perros y gatos.<sup>91</sup> En radiología, los urolitos pueden ser



radiopacos o radiolúcidos comparados con el medio de contraste, mientras que los coágulos de sangre siempre son radiolúcidos.<sup>28</sup>

Si los uréteres están dilatados de forma difusa y regular, las causas más probables son obstrucciones o atonías secundaria a infecciones, inflamación o trauma.<sup>28</sup> Aunque algunos uréteres ectópicos también pueden tener esta morfología.<sup>28</sup> Una dilatación focal con forma regular es compatible con ureteroceles o divertículos.<sup>28</sup> Uréteres dilatados de forma difusa e irregular son compatible con fibrosis secundaria a inflamación crónica.<sup>28</sup>

Dilataciones leves de la pelvis renal pueden ser secundarias a diuresis o insuficiencia renal (< 3mm, en perros). Dilataciones  $\geq 13$  mm siempre están asociados a obstrucciones uretrales,<sup>92</sup> aunque hay numerosas causas (por ejemplo, pielonefritis, diuresis aumentada, poliuria secundaria a causas no renales, insuficiencia renal u obstrucción uretral) que pueden provocar una dilatación similar.<sup>53</sup> La dilatación de la pelvis generalmente es la primera anomalía detectada sugestiva de una posible obstrucción uretral, pero es importante tener en cuenta que en algunos casos esta puede ser tan pequeña como 5,10 mm en perros y 1,20 mm en gatos, incluso no producirse en estos últimos.<sup>53</sup>



Figura 9. A – Radiografía lateral de una urografía excretora (UE) en un perro. Se observa distensión bilateral de los divertículos de leve a moderada, con márgenes redondeados e hidroureter bilateral moderado hasta la unión ureterovesical, compatible con ureteritis u obstrucción uretral. (B – E) Radiografías ventrodorsales de UE en perros con diferentes grados de dilatación de la pelvis. B – Dilatación de la pelvis renal de leve a moderada, con una dilatación moderada de los divertículos.

C – Moderada dilatación de la pelvis renal, divertículos y uréter derecho, y leve dilatación de los divertículos y uréter proximal izquierdo. D – Dilatación marcada de la pelvis renal izquierda enmascarando la visualización de los divertículos. E – Hidronefrosis derecha severa, causando una marcada renomegalia y un adelgazamiento del córtex renal (flechas negras).

Fuente bibliográfica: Habing AM, Byron JK. *Imaging of the urinary tract*. In: Weisse C, Berent A, eds. *Veterinary image-guided interventions*, 2015.

- o Disminución del tamaño uretral. Un tamaño pequeño de forma difusa es compatible con una dosis insuficiente de contraste u oliguria.<sup>28</sup>
- o Uréteres ectópicos. Pueden tener un tamaño normal o estar dilatados y asociados a hidronefrosis.<sup>41</sup> Pueden insertarse en el cuello de la vejiga, uretra, vestíbulo o vagina.<sup>41,28</sup> La diferenciación entre los uréteres extramurales e intramurales puede ser difícil.<sup>49</sup>
- o Defectos de llenado de la pelvis renal o uréteres (Figura 10). Pueden estar causado por cálculos, coágulos de sangre o neoplasias,<sup>41</sup> y en uréteres también por constricciones. Los defectos de llenado transitorios en los uréteres se asocian a su peristaltismo normal.<sup>28</sup>

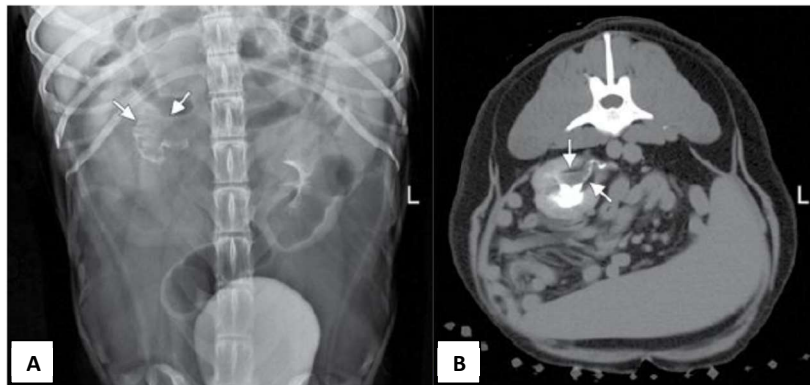


Figura 10. Urografías excretoras con defectos de llenado en la pelvis renal, en perros con hematuria. A – Radiografía ventrodorsal, la pelvis renal se observa expandida, con un defecto de llenado irregular, poco definido, en la parte craneomedial extendiéndose al uréter proximal. B – Corte sagital de una tomografía computarizada, se observa un defecto triangular hipotenuante en la parte dorsal de la pelvis renal, extendiéndose a la parte proximal del uréter. La pelvis renal esta moderadamente dilatada. En ambos casos se confirmó la presencia de coágulos de sangre.

Fuente bibliográfica: Habing AM, Byron JK. *Imaging of the urinary tract*. In: Weisse C, Berent A, eds. *Veterinary image-guided interventions*, 2015.

- o Anormalidades focales de los uréteres. Estrechamientos focales y persistentes son compatibles con una constricción o compresión extraluminal secundario a una masa adyacente.<sup>28,41</sup> En dilataciones focales considerar, ureteroceles o divertículos ureterales.<sup>41</sup>
- Función renal (Figura 11). Se puede evaluar observando las alteraciones en la opacificación del nefrograma. Una opacificación inicial buena que disminuye de forma progresiva indica una funcionalidad renal normal.<sup>28,84</sup> Las alteraciones se clasifican en función del grado de opacificación inicial y su comparación con las imágenes sucesivas.<sup>28,84</sup>

Las alteraciones en la fase nefrográfica asociadas a cambios en la función renal se manifiestan con:

- Una opacificación inicial de moderada a buena seguida por un incremento o persistencia de la opacidad renal se observa en hipotensión sistémica (natural o inducida por el contraste), obstrucción renal aguda, o fallo renal inducida por el contraste.<sup>28,84,93</sup>
- Una opacificación inicial pobre seguida por:
  - o una disminución progresiva está asociada a enfermedad renal aguda oligúrica, una dosis insuficiente de contraste, u obstrucción urinaria (intra o extra luminal).<sup>28,84,83</sup>
  - o un aumento progresivo se observa en casos de obstrucción extra renal aguda, hipotensión sistema preexistente, e isquemia renal.<sup>28,84</sup>
  - o una opacificación persistente se asocia a disfunción glomerular primaria o enfermedad renal generalizada severa.<sup>28,84</sup>

Las alteraciones en la fase del pielograma asociadas a cambios en la función renal se manifiestan con opacificaciones pobres o indetectables del sistema excretor,

ya que la opacificación del pielograma depende tanto de la filtración glomerular como de la habilidad de concentración renal.<sup>28</sup>

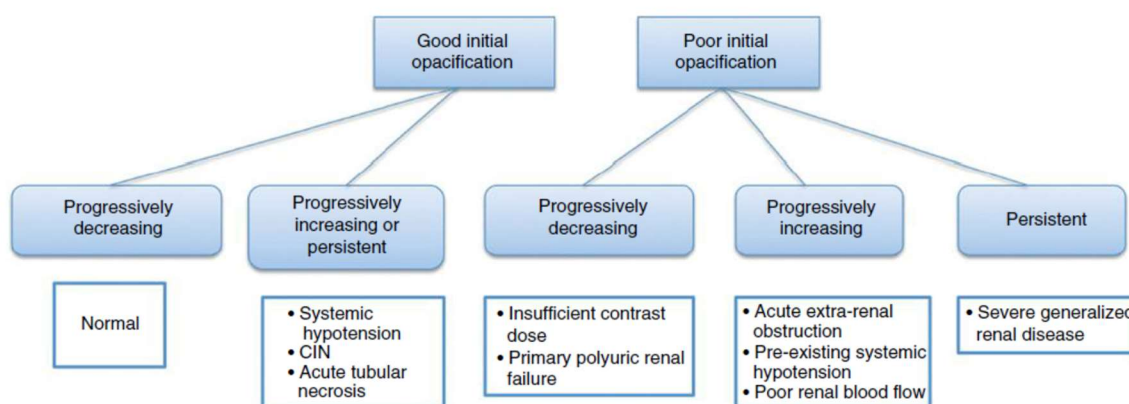


Figura 11. Diagrama de diferenciales de los posibles patrones de opacificación del nefrograma.

Fuente bibliográfica: Habing AM, Byron JK. *Imaging of the urinary tract*. In: Weisse C, Berent A, eds. *Veterinary image-guided interventions*, 2015.

Existe mucha discrepancia en la literatura, en cuanto a los tiempos de exposición y la dosis utilizada, variable en función de la técnica escogida, objetivo del estudio y especie. La falta de armonización entre los estudios dificulta la extrapolación de la técnica, limitando su uso clínico y dificultando su interpretación.

### 3.5 Descripción de su uso por especies.

Principalmente descrito en perros y gatos,<sup>24,28,37,41,47,66,84,72,90</sup> aunque disponemos de descripciones en forma de casos clínicos y algunos estudios en ratas, ardillas, hurones, conejos, cobayas, koalas, cerdos miniatura y macacos.<sup>5,16,45,75-78,91,94-103</sup>

Las diferentes técnicas, dosis, y contrastes utilizados dificulta obtener conclusiones claras en estas especies, sobre todo para la obtención de medidas de referencia en animales sanos, ya que varios de los estudios realizados incluyen conjuntamente animales sanos y enfermos (por el propio objetivo del estudio o por la falta de realización de pruebas diagnósticas previas).<sup>45,91,95,96,98,102</sup>

En conejos la indicación más descrita de la UE es la evaluación de la función renal antes de realizar ureteronefrectomías.<sup>1</sup> Se han realizado estudios experimentales de REU para comparar la vía de administración intravenosa e intraósea,<sup>76,77</sup> medios de contraste,<sup>77</sup> su capacidad diagnóstica con otras modalidades de imagen en obstrucciones uretrales;<sup>29</sup> o para describir la anatomía del tracto urinario.<sup>5</sup> También se ha descrito su uso clínico en un caso de hernia inguinal para localizar la vejiga de la orina.<sup>24</sup> Con el uso de la TCUE se ha descrito un estudio para determinar el RFG en dos conejos con enfermedad renal (nefroblastoma renal; e ureterolitiasis y nefrolitiasis),<sup>16</sup> y varios casos clínicos, para el diagnóstico de un absceso renal,<sup>7</sup> hidronefrosis e hidrouréter bilateral (por urolitiasis y compresión extraluminal),<sup>94</sup> dos casos de hidronefrosis por nefrolitiasis,<sup>94</sup> y dos casos de herniación diafragmática del riñón derecho (Figura X).<sup>94</sup> Pero no existen estudios caracterizando las fases de la UE en animales sanos, dosis mínima necesaria, tiempos de realización de las imágenes con las diferentes modalidades de imagen, o sobre el uso de la FUE en esta especie.

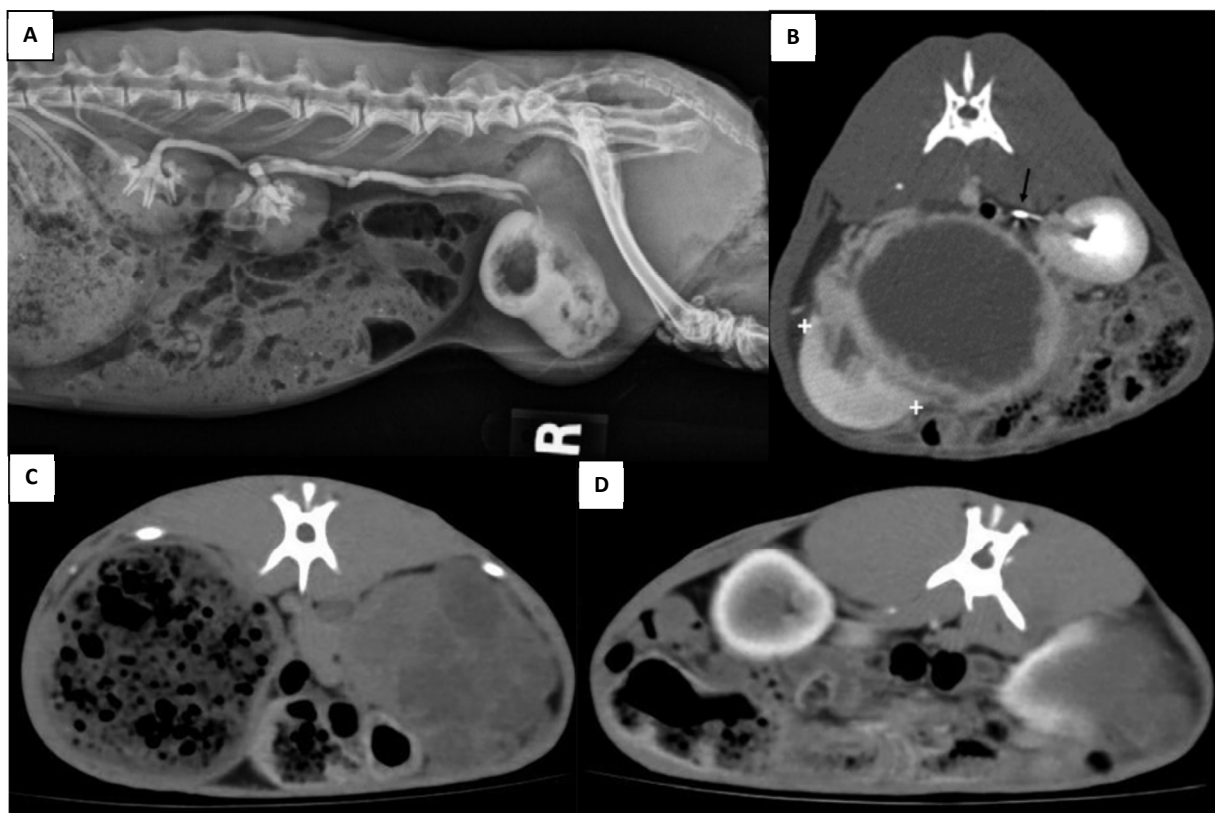


Figura 12. Urografías excretoras en conejos. A – Radiografía lateral derecha obtenida a los 25 minutos post-contraste. La vejiga de la orina se observa fuera de la cavidad abdominal, en el espacio subcutáneo, como una estructura lobulada, irregularmente marginada, con captación de

contraste y múltiples defectos de llenado de forma de oval a irregular (compatible con burbujas de gas). Las pelvis y los uréteres se observan moderadamente dilatados, tortuosos hasta la pared abdominal ventral, donde se observa un estrechamiento al pasar la pared. B - Corte transversal de una tomografía computarizada (TC) post-contraste. Observamos una masa que se origina en el riñón derecho, con un centro hipoatenuante sin captación de contraste y una pared con realce, compatible con un absceso. C – D. Corte transversal de una TC pre y post-contraste respectivamente. Podemos observar una masa multilobulada, heterogénea que ocupa el 80% del parénquima renal, con un volumen renal funcional reducido comparado con el riñón izquierdo.

Fuentes bibliográficas: A – Grunkemeyer VL, Sura PA Baron ML, Souza MJ. *Surgical Repair of an Inguinal Herniation of the Urinary Bladder in an Intact Female Domestic Rabbit (Oryctolagus cuniculus)*, 2016. B – Hallman RM, Brandao J. *Diagnostic Imaging of the Renal System in Exotic Companion Mammals. Vet Clin North Am Exot Anim Pract*, 2020. C/D – Zoller G, Langlois I, Alexander K. *Glomerular filtration rate determination by computed tomography in two pet rabbits with renal diseases. J Am Vet Med Assoc*, 2017.

En cobayas existen pocas descripciones de su uso, con la RUE se han descrito dos casos de hidronefrosis e hidrouréter por ureterolitiasis, y dos casos de ruptura de la vejiga urinaria, y con la TCUE un caso de hidrouréter bilateral y pielectasia por pielonefritis.<sup>94</sup>

En hurones, es donde encontramos más descripciones de su uso en formato de casos clínicos. Con la RUE se ha descrito el diagnóstico de hidronefrosis e hidrouréter por estenosis de la unión ureterovesical (bilateral y congénita en un caso; y unilateral por sedimento en otro);<sup>91,94,97</sup> dos casos de hidrouréter unilateral;<sup>102</sup> hidronefrosis con hidrouréter segmental unilateral, sin realce renal;<sup>102</sup> hidrouréter bilateral, con hidronefrosis y distensión de la vejiga de la orina por compresión extraluminal del cuello de la vejiga y de la uretra proximal por una piómetra cerrada;<sup>102</sup> uréter circuncavo o retrocavo;<sup>99</sup> uréter ectópico extramural; y <sup>100</sup> quiste renal con compresión renal.<sup>94</sup> Con la TCUE se ha descrito el diagnóstico de un pseudoquiste pararenal,<sup>98</sup> y de estenosis unilateral de la unión ureterovesical (Figura 13).<sup>94</sup>

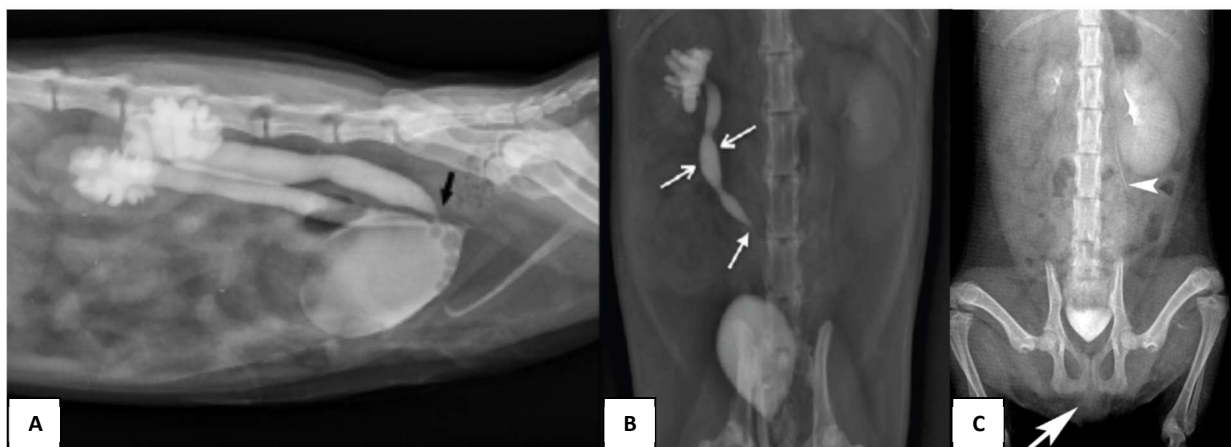


Figura 13. Casos clínicos de urografías excretoras en hurones. A – Radiografía oblicua derecha, 80 min post-contraste. Se puede observar la marcada dilatación de las pelvis renales, uréteres y estenosis a nivel de la unión ureterovesical. B – Radiografía ventrodorsal post-contraste (tiempo no descrito). Podemos observar hidronefrosis derecha marcada con una dilatación y desplazamiento medial del uréter proximal derecho, compatible con un uréter retrocavo. C – Radiografía ventrodorsal post-contraste (tiempo no descrito). Se puede observar un riñón derecho pequeño e irregular y una renomegalia izquierda compensatoria. No se observa el uréter derecho.

Fuentes bibliográficas: A – Vilalta L, Dominguez E, Altuzarra R, Sibera N, Espada Y, Novellas R, Martorell J. – Radiography and ultrasonography of bilateral congenital ureterovesical junction stenosis causing hydronephrosis and hydroureter in a ferret (*Mustela putorius furo*). *Vet Radiol Ultrasound*, 2017. B – Di Girolamo N, Carnimeo A, Nicoletti A, Selleri P. Retrocaval ureter in a ferret. *J Small Anim Pract*, 2015. C – D’Ovido D, Melidone R, Rossi G, Albarella S, Noviello E, Fioretti A, Meomartino L. Multiple congenital malformations in a ferret (*Mustela Putorius Furo*). *J of Exot Pet Med*, 2015.

### 3.6 Tiempos de exposición.

El inicio de las diferentes fases depende de la técnica utilizada, la cantidad de contraste administrada, la velocidad de administración del contraste, del mismo modo que del output cardiaca, la integridad de la vasculatura renal y de la función renal.<sup>82</sup> El tiempo de realización de las imágenes es esencial para determinar el inicio de cada fase, y el momento de máxima visualización de las estructuras (mayor tamaño y densidad). Siendo variable en función del estudio, técnica utilizada y patología a diagnosticar.<sup>105</sup>

La mayoría de los estudios en perros y gatos recomiendan para los estudios RUE y FUE realizar radiografías basales y proyecciones latero-laterales derechas y ventrodorsales después de la administración de contraste.<sup>28,41,90,105</sup> Las vistas ventrodorsales son las consideradas más útiles por la no superposición de las estructuras del tracto urinario.<sup>105</sup> Se recomienda realizar las radiografías a tiempo 0 (justo después de la administración del contraste), a los 5, 20 y 40 minutos. Realizando radiografías oblicuas a partir de los 5 minutos para visualizar la unión ureterovesical.<sup>41</sup> En perros se ha determinado que la máxima densidad y el máximo tamaño de los riñones se observa a tiempo 0 y 5 minutos; y a los 5 y 10 minutos, respectivamente.<sup>90</sup> En el caso de la pelvis renal la máxima densidad se observa a los 10 y 20 minutos, y el máximo tamaño a los 40 minutos; y los uréteres presentan una máxima densidad a los 5, 10 y 20 minutos; y un máximo tamaño a los 5 minutos.<sup>90</sup> Por lo que, realizando imágenes seriadas inmediatamente después de la administración del contraste, a los 5, 20 y 40 minutos seremos capaces de detectar todas las fases en su máxima densidad y tamaño.

Para los estudios con TCUE se recomienda realizar un escáner basal en decúbito esternal desde la parte craneal de los riñones a la uretra, repetir el escáner a tiempo 0 y a los 3 minutos de la administración del contraste. Realizando, en caso necesario, escáneres adicionales desde la mitad de la vejiga hasta la parte caudal de la uretra para evaluar la unión ureterovesical.<sup>41</sup> Para calcular el RFG mediante TCUE, se realizan imágenes seriadas centradas en los riñones.<sup>16,46</sup>

En mamíferos exóticos existe muy poca información sobre los tiempos en los cuales detectaremos una mayor densidad y tamaño de las diferentes fases del urograma. La mayoría de los estudios disponibles, de naturaleza experimental, son difíciles de aplicar clínicamente y no definen el inicio de las fases del urograma. La otra fuente científica disponible son casos clínicos en pacientes con patología en el tracto urinario, lo que dificulta obtener valores de referencia de los tiempos en los cuales se deben detectar las diferentes fases en pacientes sanos.



Generalmente, los tiempos de realización de las imágenes se extrapolan de perros y gatos, aunque los estudios realizados en las diferentes especies muestran la gran variabilidad del inicio y máxima opacificación de las fases del urograma. Por ejemplo, en ratas se detecta la fase de nefrograma e inicio del pielograma en el 100% de los animales a los 15 segundos post administración del contraste. Y en el 16,66% de los casos también se observa el inicio del cistograma en este periodo de tiempo.<sup>95</sup> Por lo que en esta especie se describe la necesidad de realizar imágenes seriadas a un tiempo más temprano por la rápida aparición de las fases.<sup>95</sup> En cambio, en cerdos minatura<sup>101</sup> y en koalas,<sup>103</sup> se observa un inicio de las fases mucho más retardado. En el caso de los cerdos la fase de nefrograma se observa a los  $3,14 \pm 0,10$  minutos de media (rango 3 – 5 minutos, y máxima opacidad 5 – 10 minutos), el pielograma a los  $7,50 \pm 1,77$  minutos de media (rango 5 – 15 minutos), y el cistograma entre los 5 – 30 min.<sup>101</sup> En koalas, las fases son muy variables entre individuos, la fase vascular se observa al minuto de media, el nefrograma a los 3 minutos (rango 3 – 5 minutos, máxima opacidad variable 5 – 120 minutos), el pielograma entre los 3 y 240 minutos y el cistograma entre los 5 y 240 min de media.<sup>103</sup> En estas especies parece que el contraste se elimina de forma mucho más lenta, pudiendo estar correlacionado con su baja tasa metabólica,<sup>103</sup> por lo que los tiempos de realización de las imágenes para detectar las diferentes fases deberían ser más amplios.

En conejos existen 4 estudios experimentales sobre el uso de la UE.<sup>5,29,76,77</sup> Solo en dos de ellos describen las fases de la UE. El primero realiza las imágenes a los 3, 10 y 30 minutos,<sup>77</sup> y no permite diferenciar las fases de la UE, ya que en la primera secuencia obtenida se observan todas las fases del urograma. En el segundo artículo,<sup>5</sup> se realizan las imágenes a los 5, 10, y 15 minutos, y, por lo contrario, a los 5 minutos solo se observa el nefrograma, a los 10 minutos el pielograma, y entre los 15 y 20 minutos el cistograma. Estas discrepancias pueden estar relacionadas con el ratio de administración del contraste (no determinada en ninguno de los estudios), la dosis de contraste utilizada ( $600 \text{ mgI/kg}^{77}$  vs  $1050 \text{ mgI/kg}^5$ ), tipo de contraste utilizado por su diferente carga iónica e osmolaridad (opamidol, Isovue® 300 y diatrizoato de meglumina, renografin® 76<sup>77</sup> vs iohexol, Omnipaque® 350<sup>5</sup>), falta de realización de pruebas para determinar la función renal de los animales incluidos,<sup>5</sup> por los parámetros

radiográficos utilizados o por la experiencia del investigador en la visualización de las imágenes.

Para poder utilizar nuevas técnicas en pacientes es esencial caracterizarlas primero en animales sanos de la especie a estudio. La falta de estudios realizados en muchas especies, y la falta de armonización de los resultados disponibles crea la necesidad de extrapolar los datos que tenemos a nuevas especies o situaciones clínicas. Con la información que disponemos es importante valorar 2 puntos para adecuar los tiempos de realización de las imágenes por la interferencia que pueden ofrecer en la detección de las fases: la tasa metabólica de la especie y la vía de administración que vamos a utilizar. Especies con tasas metabólicas superiores tendrán una aparición de las fases más rápida, por sus elevadas frecuencias cardiacas y rápida metabolización de los fármacos, por lo que los intervalos entre imágenes deberán ser cortos, e iniciar la obtención de imágenes en un tiempo más temprano después de la administración de contraste. La vía de administración intravenosa e intraósea, con una absorción similar, no provocaran cambios en la calidad del urograma, ni en la aparición de las fases,<sup>77,78</sup> pero si en la desaparición de estas, siendo significativamente menor con la administración intraósea.<sup>78</sup> Contrariamente el uso de la vía subcutánea provocará interferencias en las fases del urograma. En ratas se ha descrito que administrando el contraste por esta vía no se observa la fase de nefrograma, y el pielograma se retrasa considerablemente, recomendando iniciar la secuencia de imágenes a los 5 y 10 minutos después de la administración del contraste.<sup>27</sup>

### **3.7 Dosis utilizadas y duración de la administración.**

La cantidad de medio de contraste en las nefronas es un factor importante en la opacificación del parénquima renal, determinado principalmente por la concentración de moléculas de yodo en el filtrado y el volumen de medio de contraste a ser filtrado.<sup>66,84</sup>

La concentración del medio de contraste en el filtrado se determina inicialmente por la concentración de contraste plasmática. Los medios de contraste que se utilizan se excretan por filtración glomerular, sin absorberse o excretarse a nivel tubular. Por lo que la concentración del medio de contraste en el filtrado es prácticamente el mismo que en el plasma. Por este motivo una elevada concentración de medio de contraste en el plasma es el primer requerimiento para obtener un nefrograma adecuado. Esto se puede obtener con una rápida administración de una dosis elevada de contraste para dar una carga máxima filtrada o “efecto bolo”.<sup>66</sup>

Tanto la dosis utilizada, como el tiempo de administración y volumen de contraste utilizado tendrán un papel fundamental en la calidad del urograma e inicio de las fases. Estos son variables en función del estudio, técnica utilizada y patología a diagnosticar.<sup>73</sup>

De forma inconsistente los estudios describen el tiempo o duración de la administración del bolo de contraste, generalmente definido como “administración rápida”, y a menudo variable en el mismo estudio según el peso del animal.<sup>29,93,105</sup> Sin conocer en muchos casos si la administración ha sido realizada de forma manual o con jeringa de perfusión.<sup>66,88,90</sup> Hechos que tienen un efecto directo en el inicio del nefrograma, su opacidad y progresión de las fases del urograma.

La mayoría de los estudios en perros y gatos recomiendan dosis en RUE y FUE de 600 – 880 mgI/kg, y en TCUE de 400 – 880 mgI/kg, aumentando un 20% la dosis en pacientes con azotemia renal.<sup>41</sup> La mayor definición que proporciona la TCUE sobre las otras técnicas permite reducir las dosis de contraste utilizadas (400 mgI/kg).<sup>41,51</sup>

En pacientes con patología renal, por el número insuficiente de nefronas y la disminución del RFG, podemos observar un retraso del inicio del nefrograma, ya que las nefronas funcionales restantes tardan más en excretar el medio de contraste circulante, y una menor opacificación del pielograma, por la inhabilidad de los túbulos renales para concentrar la orina.<sup>66</sup> Aumentando la dosis de contraste, y por lo tanto aumentando su concentración plasmática se puede compensar esta bajo de RFG y producir

un urograma diagnóstico de forma segura.<sup>66</sup> Aunque será importante evaluar en cada caso la necesidad de realizar el examen urográfico, ya que el mayor factor de riesgo para la aparición de efectos adversos es la existencia y magnitud de una enfermedad renal preexistente.<sup>33</sup>

En cuanto a la mínima dosis necesaria para obtener un urograma de buena calidad, solo disponemos de estudios en perros,<sup>90</sup> gatos<sup>42,105</sup> y ardillas.<sup>75</sup> En perros se ha determinado que la dosis mínima eficaz con RUE administrada por vía intravenosa, es 400 mg/0,45 kg de iothalamato sódico (Conray® 400, administración rápida, el estudio compara dosis de 200, 400, 800 mg/0,45kg).<sup>90</sup> En gatos se ha determinado que la dosis mínima eficaz con RUE administrada por vía intravenosa, es 800 mg/kg de diatrizoato de meglumina (administración rápida, el estudio compara dosis de 800 y 1200 mg/kg, Urografin® 76),<sup>42</sup> y de 400 mg/kg de iohexol (administración rápida, el estudio compara dosis de 400, 600, 800 mg/kg de iohexol, Omnitrast® 350, y 880 mg/kg de amidotrizoato, Urografin® 370).<sup>105</sup> Y en ardillas se ha determinado que la dosis mínima eficaz con REU administrada por vía subcutánea, es 1300 mg/kg de iodixanol (el estudio compara dosis de 1300 y 1800 mg/kg, Visipaque®TM, aunque describe el estudio preliminar donde las dosis de 800 y 1000 mg/kg no son insuficientes).<sup>75</sup>

En el resto de las especies, la dosificación se realiza por extrapolación o experiencia clínica. Las dosis más utilizadas en pequeños mamíferos son 600 a 850 mg/kg.<sup>1,7</sup>

En la tabla 2 se resumen los estudios y casos clínicos en pequeños animales, animales exóticos y salvajes describiendo la técnica utilizada, dosis de contraste y tiempos de exposición.

ESPECIE	PREPARACIÓN PACIENTE	TÉCNICA Y ADQUISICIÓN IMÁGENES	DOSIS Y TIPO CONTRASTE, VÍA ADMINISTRACIÓN	INTERPRETACIÓN, CONCLUSIONES Y COMENTARIOS	REF
Perro	Pruebas: análisis sangre, orina y RX abdominales. Ayuno: 24h, laxante: 20h, vaciado vejiga de la orina (70 % administran 50 – 100 mL de salino). 48h entre estudios.	<b>RUE:</b> basales, 5 – 20s, 5, 10, 20, 40, 60 y 120 min (VD).	Vía IV: vena cefálica. Sodium iohalamate, Conray® 400. Dosis: 200, 400 y 800 mg/0.45 kg. Administración rápida, entre 2 y 40 segundos, dependiendo del volumen. <i>No describe modo de administración.</i>	Objetivo: determinar dosis, tiempos y factores individuales. Alteraciones: proteinuria al final de múltiples estudios. Dosis mínima efectiva 400 mg/0,45 kg (no diferencias entre 400 y 800). Tiempo de realización de las radiografías (máximo tamaño y densidad de las estructuras): t0, 5, 20 y 40 min. - Riñones: máx. densidad t0 y 5 min; máx. tamaño: 5 – 10 min - Pelvis renal: máx. densidad 10 y 20 min; máx. tamaño 40 min. - Divertículos: máx. densidad 40 min. - Uréteres: máx. densidad 5, 10 y 20 min; máx. tamaño 5 min. Al aumentar la dosis, el tiempo de visualización de las fases es mayor. No diferencias si vejiga orina vacía o parcialmente distendida. Se detectan variaciones en tamaños por individuos, en función de la dosis y tiempo.	90 Estudio experimental
Perro	Pacientes. <i>Describe realización de pruebas, pero sin especificar.</i> Ayuno 12h, enema 3 a 6h antes del estudio.	<b>RUE:</b> 10s, 1, 3, 5 Y 15 min (LL dos primeras vistas; LL y VD las siguientes).	Vía IV: vena cefálica. Diatrizoato de meglumina, Hypaque® 50 Dosis: 1ml/lb. Aumentando la dosis según necesidad. Administración tan rápida como sea posible. <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: realizar una revisión del uso de REU. Se realizan un total de 126 urogramas, 84 tienen patología renal. A los 10s se observa la fase vascular o ortograma intravenoso, a los 30s el nefrograma, y entre el min 1 y 3 el pielograma (en este tiempo el nefrograma empieza a disminuir).	66 Estudio experimental
Perro	<i>Grupo sano.</i> Pruebas: examen físico, análisis sangre y orina, RX y US abdominal. <i>Grupo enfermo.</i> Pruebas: creatinina y BUN séricos	<b>RUE:</b> 5, 15, 30, 60 y 80 min. <i>No define vistas.</i>	Vía IV: <i>no define vena.</i> Iohexol, Omnipaque® Dosis: 850 mg/kg <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: evaluar el efecto de la dopamina para la prevención de daño renal agudo post-contraste. Los individuos sanos se dividen en tres grupos: grupo 1, se realiza solo la UE (grupo control); grupo 2, se realiza la UE y administración de fluidoterapia (2 mL/kg/h desde el inicio hasta 6 horas post-contraste), y grupo 3: se realiza la UE con la administración de Dopamina (5µg/kg/min, 30 min pre-contraste hasta 6h post-contraste). Los individuos enfermos (fallo renal agudo inducido por sobredosis de gentamicina): se dividen con los mismos grupos. Con la administración de dopamina se observa una nefrograma y pielograma de buena opacidad, y promueve la eliminación del contraste, con un posible efecto protector a nivel de los túbulos renales.	88 Estudio experimental

<b>Perro</b>	Pruebas: análisis sangre, US abdominal.	<b>TCUE:</b> basal, t0, 1, 3 y 10 minutos. Decúbito esternal, con la pelvis elevada caudalmente.	Vía IV: <i>no define vena.</i> Iohexol, Accupaque® 300 Dosis: 2 mL/kg, ratio administración: 5 mL/s, con inyector.	Objetivo: describir los hallazgos de un caso de duplicación renal, ureteral y ureterocele ectópico. Resultado: se observa un riñón derecho bilobulado, con un nefrograma y pielograma normal. Pielograma: doble sistema colector con 2 comunicaciones independientes a la pelvis renal y dos uréteres, que entran de forma separada a la vejiga. En el uréter caudal se observa una dilatación moderada en su porción distal, con una estructura quística intramural, que se extiende caudalmente a la vejiga, hasta la uretra prostática.	74 Caso Clínico
<b>Perro</b>	Ayuno: 12h, enema, vaciado de vejiga y neumocistografía. 24 h entre FUE y CTUE estudios. <i>No describe pruebas</i>	<b>FUE:</b> basal, t0, 3 y 10 min (RL y VD). Oblicuas adicionales para los uréteres. <b>TCUE:</b> basal, y 3 min de abdomen completo. Y a los 5 y 15 min des de la mitad vejiga hasta final tracto urinario. Secuencias adicionales para uréteres. Decúbito esternal.	Vía IV: vena cefálica. Iohexol, Omnipaque® 240 Dosis: 2ml/kg. <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: determinar la utilidad diagnóstica de la TCUE en el diagnóstico de uréteres ectópicos, y comparar los resultados con la FUE y la uretrografía fluoroscópica. Resultados TCUE y FUE correctamente identificaron la presencia y sitio de uréter ectópico, siendo más útil la CT. Resultados TCUE y FUE correctamente identificaron la presencia y sitio de uréter ectópico, en el 67 % y 50 % de los casos respectivamente, siendo más útil la TC por la mayor definición de la anatomía del tracto urinario.	49 Estudio experimental
<b>Perro</b>	Pruebas: analíticas de sangre. Fluidoterapia a 5 mL/kg/h durante el estudio.	<b>TCUE:</b> basal, se define un área en el tercio distal del lumen del uréter. Escáneres hasta llegar a los 150 HU, y realización de un escáner del abdomen caudal.	Vía IV: vena cefálica. Iohexol, Omnipaque® 350. Dosis: 600 mg/kg, mediante inyector de presión, ratio 2 – 3 ml/s.	Objetivo: uso de la técnica de seguimiento de bolo ( <i>bolus tracking technique</i> ) en TCUE para evaluar la unión ureterovesical. Resultados: se observa la unión ureterovesical de forma sencilla y claramente visible en el 100% de los pacientes.	68 Estudio experimental
<b>Perro</b>	<i>Pacientes, no describen las pruebas realizadas.</i>	<b>TCUE:</b> basal y 40 s. TCUE 4D 120s y TCUE convencional 180s post contraste. Decúbito esternal.	Vía IV: vena cefálica. Iopamidol, Niopam® 350. Dosis: 700 mg/kg, mediante inyector. <i>No define ratio de administración.</i>	Objetivo: evaluar precisión diagnóstica entre la TCUE tradicional vs la TCUE de 4D, y la influencia de la posición de la pelvis y el ángulo de la unión ureterovesical. La TCUE tiene una sensibilidad y especificidad del 73% y 90,20% vs a 97% y 94,60% para la TCUE de 4D, sin influencia en la posición de la pelvis y con mejor visualización de lo uréteres ectópicos intramurales con un ángulo obtuso (90 – 180º) de la unión ureterovesical.	44 Estudio experimental
<b>Perro</b>	Pruebas: examen físico general	<b>TCUE:</b> basal. TCUE de 3 fases, protocolo A:	Vía IV: vena cefálica. Iohexol, Omnipaque® 300	Objetivo: describir la aplicación de le técnica de bolo de contraste fraccionado	

	(presión arterial) análisis de sangre y orina, US y RX abdominal y ecocardiografía. Ayuno: 12h, laxante 12h antes. 7 días de descanso entre estudios.	administración dosis única completa, primer CT post contraste a los 50 s, segundo CT post contraste a los 20 min. Protocolo B. TCUE fraccionado. B1 70% y 30% de la dosis, a los 9 min 10s y 10 min. TC post contraste 10 min y 50s. B2 50% y 50% de la dosis, a los 16 min y a los 16 min y 45s. TC post contraste a los 16 min y 47s. Decúbito esternal.	Dosis total: 2 mL/kg, 600 mgI/kg, inyector, ratio de 3mL/s. Protocolo A: TCUE en 3 fases, dosis completa al inicio. Protocolo B. TC fraccionado. B1 70% y 30% de la dosis, y B2 50% y 50% de la dosis.	( <i>split-bolus technique</i> ), y determinar la dosis de contraste óptima, evaluando 2 fracciones de dosis (70 – 30% vs 50 – 50%) y comparando esta técnica con la TCUE en tres fases. Atenuación del parénquima renal significativamente menor en los protocolos de TCUE fraccionados, siendo mayor con el protocolo B1. No se observan diferencias significativas entre el diámetro y opacidad de los uréteres. El protocolo de fraccionamiento de la dosis a 70% y 30% permite evaluar el tracto urinario, con un realce del parénquima renal suficiente y con una distensión y opacificación de los uréteres apropiada, similar a la TCUE en tres fases. La TCUE fraccionada tiene la ventaja de reducir la exposición de radiación y número de imágenes de TC necesarias para la interpretación.	70 Estudio experimental
Perro	Pruebas: examen físico, y bioquímica sérica (antes y 24 h post-contraste)	TCUE: basal, dinámico en el riñón izquierdo, cada 30 segundos durante 40 min.	Vía IV: <i>no define vena</i> . Iohexol, Omnipaque® 300 Iodixanol, Visipaque®320 Dosis: 300 mgI/kg Ratio: 1 mL/s, inyector de presión.	Objetivo: comparar el efecto en la UE del uso de medios de contraste diméricos (iodixanol) y monoméricos (iohexol). Se compara el efecto en el córtex renal y la aorta. No se observan diferencias en la aorta, pero el iodixanol mayor atenuación y más persistente que el iohexol a nivel del córtex renal.	104 Estudio experimental
Perro	Pruebas: examen físico, análisis de sangre. 24h entre estudios.	TCUE: basal, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 15, 20, 25, 30, 40, 50 y 60 min. Región caudal abdominal (vejiga de la orina). Decúbito esternal con elevación de la pelvis.	Vía IV: <i>no define vena</i> . Ioxitalamato de meglumina sódica. Telébrix®350. Dosis: 100, 200, 400 y 800 mgI/kg. <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: efecto de la dosis de contraste en el tiempo de adquisición de imágenes y opacificación uretral en perros sanos con CTUE. La mejor opacidad se observó con dosis de 400 y 800 mgI/kg, con un pico de opacidad a los 3 minutos, y una duración de 1h. Dosis menores ofrecieron una opacificación insuficiente. La dosis mínima recomendada es 400 mgI/kg.	51 Estudio experimental
Perro	Pruebas: examen físico, análisis de sangre y orina. Ayuno: 12h, neumocistografía.	TCUE: basal, 3 min. Decúbito esternal.	Vía IV: <i>no define vena</i> . Diatroxioato de meglumina sódica. Renocal®76. Dosis: 400 mgI/kg. <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: evaluación de los uréteres y unión ureterovesical. Se describe la anatomía de las estructuras (tamaño similar a lo anteriormente descrito de uréteres y pelvis renal). Visualización clara de la unión ureterovesical.	108 Estudio experimental
Gato	Pruebas: examen físico, creatinina sérica, análisis	RUE: basales, 5 – 15s, 5, 15 y 40 min (VD).	Vía IV: vena cefálica. Diatrizoato de meglumina, Urografin® 76.	Objetivo: influencia de la dosis del medio de contraste y el tipo de restricción química en el ratio de opacificación.	

	orina. Ayuno: noche anterior. 1 semana entre cada estudio.		Dosis: protocolo A: 800 mg/kg, protocolo B y C: 1200 mg/kg. Administración rápida. <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	3 grupos: A: 800 mg/kg, B y C: 1200 mg/kg, cambiando el protocolo anestésico. Resultados: grupo A buena opacificación inicial, persistente durante más tiempo. El protocolo anestésico tiene un efecto en la opacificación (mayor con xilacina que con ketamina). Dosis óptima 800 mg/kg (aumentar la dosis no produce beneficios), mejor sedación con xilacina para la visualización del nefrograma.	42 Estudio experimental
<b>Gato</b>	Pruebas: análisis sangre y orina. Ayuno: 24h, laxante 20h antes. Se vacía la vejiga vía cateterización.	<b>RUE:</b> basales (VD y LL), t0, 5, 10, 15, 30, 45 y 60 min (solo VD).	Vía IV: vena cefálica. Iohexol, Omnitrast® 350; y Amidotrizoato de meglumina sódica, Urografin® 370. Dosis: 200, 400, 600, y 800 mg/kg iohexol y 880 mg/kg amidotrizoate de meglumina sódica. Administración intravenosa rápida. <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: comparar diferentes dosis de iohexol para determinar la mínima dosis necesaria para obtener un urograma de buena calidad, comparando su efecto con un contraste con mayor osmolaridad como amidotrizoato (establecido como grupo control). Resultados: - Nefrograma: la opacificación aumenta y persiste más tiempo al aumentar la dosis. Se observa a t0 y 5 min, y mejor con dosis de 600, 800 y amidotrizoato (sin diferencias entre estos). A los 10,15 y 30 min no diferencias entre ningún grupo. A los 45 y 60 min, mejor calidad con 400, 600 y 800. - Calices y pelvis. Densidad máxima a los 30 min en el grupo iohexol. A los 5,10,15,30 min densidad significativamente más pobre en el grupo 200, sin diferencias entre el resto de dosis. - Uréteres. Visibles a los 5 min, visualización no relacionada con la dosis. En el grupo 200 no se observan a los 30 min, en el resto sí. - Calidad general: aumenta con la dosis de iohexol, con diferencias entre 200 y el resto. - Efectos adversos: disminución presión arterial, 10% del grupo iohexol y el 20% amidotrizato, 1 caso de apnea (grupo 600), vómitos (grupo 200) y temblores (grupo amidotrizoato). 400 mg/kg de iohexol mínima dosis necesaria, siendo el iohexol, independientemente de la dosis, mejor que los 800 mg/kg de amidotrizoato.	105 Estudio experimental
<b>Gato</b>	Pruebas pre: análisis de sangre y orina. En las radiografías basales	<b>RUE:</b> basales, t0, 15 Y 40 min. <i>No define vistas.</i>	Vía IV: no define vena. Diatrizoate de meglumina sódica, Hypaque® 76. Dosis: 2 mL/kg.	Objetivo: describir un caso de nefrograma persistente en un gato. El nefrograma y la fase vascular se observa al tiempo 0. Se observan anomalidades en venas mesentéricas. A los 15 min el nefrograma persiste, pero no se	93



	se ven cálculos en la vejiga de la orina.		Administración rápida. <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	observa el pielograma. A los 40 min en nefrograma aumenta de opacidad, no se observa pielograma ni contraste en la vejiga de la orina. Se administra fluidoterapia por sospecha de reacción. Durante 2 horas se observa oliguria. No alteraciones en la analítica de orina ni en la bioquímica sérica.	Estudio experimental
<b>Gato</b>	Sanos por examen físico,	<b>TCUE:</b> basal (solo riñones), tac dinámico cada 4s durante 120s.	Vía IV: vena cefálica. Iohexol, Omnipaque® 350. Dosis: 0,21 mL/kg, 75 mg/kg Ratio de administración: 2 mL/s con inyector.	Objetivos: comparar los métodos convencionales para estimar el ratio de filtración glomerular (RFG) con el uso del TC dinámico. Resultados: el RFG difirió < 0,70 mL/min/kg en el 62,50% de los casos al comparar el aclaramiento en plasma y el TC dinámico. Aunque se necesitan más estudios la estimación del RFG con el TC dinámico tiene un uso clínico aceptable.	47 Estudio experimental
<b>Conejo</b>	Pruebas: análisis sangre, orina, US riñones y vejiga.  Pruebas 24h post: radiografías, análisis sangre. 48h descanso entre estudios.	<b>RUE:</b> basales, 5, 10 y 15 min. (VD)	Vía IV: vena auricular, e IO: fémur. Iomeprol, Iomeron® 300. Dosis: 1200 mg/kg. Velocidad de administración: <i>IV</i> , media 35s, rango 30-40s, ratio infusión 0,20 mL/s; <i>IO</i> , media 240s, rango 210-270s, ratio infusión 0,03 mL/s. <i>No describe modo de administración.</i>	Objetivo: Comparar administración IO e IV. No define aparición fases, solo compara calidad. Ambas administraciones producen urograma de buena calidad a los 5, 10 y 15 min. Aunque a los 5 minutos la visualización es mejor con la vía IO, especialmente los divertículos (probablemente por la larga infusión vía IO).  No complicaciones locales o sistémicas. No se observa alteraciones en el hueso o medula ósea. El Iomeprol tienen una osmolaridad inferior que los medios descritos en otros estudios.	76 Estudio experimental
<b>Conejo</b>	Pruebas de sangre, orina, ecografía abdominal.  24 h entre los dos protocolos.	<b>RUE:</b> 3, 10, y 30 min (VD).	Vía IV: vena auricular, e IO: tibia. Iopamidol: Isovue® 300, Diatrizoato de meglumina sódico: Renografin-76®. Dosis 600 mg/kg. <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: compara la vía de administración IV e IO, y dos tipos de medios de contraste Urogramas de buena calidad, sin diferencias entre tipo de contraste o vía de administración. No se pueden establecer las fases, ya que en la primera imagen ya se observan todas. Cistograma: inicio a los 3 min en ambos grupos. Administración IO segura, sin signos clínicos asociados a su uso, pero en el 22,70% de los casos se observó osteoccondrosis en la histología (50% diatrizoato, y 20% salino). Mayor con el uso de contraste con mayor osmolaridad, por eso aconsejan el uso del Iopamidol.	77 Estudio experimental
<b>Conejo</b>	<i>No realizan pruebas.</i> Ayuno: 4 h	<b>RUE:</b> basales, 5, 10, 15, y hasta obtener 100 urogramas de buena calidad (VD,LL-D,LL-I).	Vía IV: vena auricular. Iohexol, Omnipaque® 350. Dosis: 3 mL/kg.	Objetivo: realizar un estudio anatómico del tracto urinario. 5 min: se observa el nefrograma, y no se observa la fase de pielograma. 10 min: se observa la pelvis renal y fragmentos de los uréteres. 15 min: se observan los uréteres en su longitud y contraste en vejiga.	5 Estudio

			<i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Determinan tamaño de los órganos del tracto urinario.	experimental
<b>Conejo</b>	<i>No realizan pruebas. No realizan ayuno.</i>	<b>REU:</b> 5, 10, 20 y 40 min (VD y LL).	Vía IV: vena cefálica. Iopamide, Ultravist® 370. Dosis: 1,5 mL/kg. Administración rápida. <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: comparar el uso de la REU, la pielografía anterograda percutánea y la ecografía renal Doppler en obstrucciones parciales ureterales (día 1 y 10 post obstrucción). Con la RUE se observó el área obstruida, el uréter y pelvis renal dilatada en todos los casos en ambos tiempos. Con la pielografía se observó el urograma con mayor opacidad que con la RUE, el área obstruida se observa en el 80% de los casos en el día 1 y en todos los casos a los 10 días postoperatorios; en dos casos se observa medio de contraste en la cavidad abdominal al día post. El cálculo del índice de resistencia con ecografía Doppler, ha demostrado ser un método efectivo, no invasivo y de bajo coste para el diagnóstico.	29 Estudio experimental
<b>Conejo</b>	<i>No realizan pruebas. Ayuno: 24h. Cistografía de contraste positivo y negativo.</i>	<b>REU:</b> basales, post contraste con un rango entre 15 y 30 min (VD, LL).	Vía IV: vena auricular. Iohexol, Omnipaque® 350. Dosis: 3 mL/kg. <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: descripción anatómica de la vejiga de la orina utilizando contraste positivo y negativo. No describen las fases del urograma, no es el objetivo del estudio. Aunque se observa en todos los estudios, con una calidad óptima. No se describen efectos adversos.	56 Estudio experimental
<b>Conejo</b>	Pruebas: análisis sangre, orina, ecografía abdominal Fluidoterapia RL a 10 mL/kg/h	<b>TCUE:</b> basal abdomen completo. Post contraste: <u>dinámico</u> (centrado en el hilio renal de ambos riñones), cada 2s, durante 190s, <u>Abdomen completo:</u> inmediatamente después del dinámico.	Vía IV: vena cefálica. Iopamidol, Isovue® 300. Dosis: 150 mg/kg Administración rápida manual, ratio 3 mL/s.	Objetivo: determinar el ratio de filtración glomerular (RFG) en dos conejos con enfermedad renal (nefroblastoma renal; ureterolitiasis y nefrolitiasis) para valorar posible ureteronefrectomía. <u>Caso nefroblastoma renal:</u> RFG 0,65 mL/min/kg riñón izquierdo (83% del total) vs 0,13 mL/min/kg riñón derecho. <u>Caso ureterolitiasis:</u> RFG 1,02 mL/min/kg riñón derecho (62% del total) vs 0,62 mL/min/kg riñón derecho. En el caso del nefroblastoma, el riñón afectado tiene poca contribución al RFG total, se realizó ureteronefrectomía, Contrariamente a lo que se observa en el segundo caso. No efectos adversos.	16 Caso clínico
<b>Rata</b>	Pruebas: análisis pre y post contraste sangre y orina, (no 100% animales).	<b>RUE:</b> 15s (VD), 1, 5, 10 y 20 min (VD y LL).	Vía IV: safena lateral. Iopamidol, Iopamiro® Dosis: 800 mg/kg, <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: describir el uso de la UE con administración IV. Nefrograma y pielograma: inicio a los 15s. Cistograma: 16,60% animales a los 15s, resto entre 1 y 5 min. Animales sanos y enfermos conjuntamente (lesiones en el 33,30% de los animales detectadas con la RUE y 75% en biopsias).	95 Estudio

	Ayuno 4h, y compresión abdomen caudal.			Inicialmente usan meglumine 800 mgI/kg, pero no lo pueden administrar por su viscosidad. Se observa extravasación perivenosa si se administra en vena cefálica. No describe reacciones.	experimental
<b>Hurón</b>	Pruebas: radiografía y ecografía abdominal.	<b>RUE:</b> basales, 1, 10, 20 y 45 min (VD y LL).	Vía IV: vena cefálica. Iohexol, Ioxolo® 240. Dosis: 720 mgI/kg <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: determinar malformaciones del sistema renal. La REU revela: riñón derecho pequeño y malformado con nefromegalia izquierda compensatoria. Se confirma la perfusión del riñón derecho, aunque no se visualiza uréter derecho. Displasia renal derecha. No reacciones.	96 Caso clínico
<b>Hurón</b>	Pruebas: análisis sangre, radiografías y ecografía abdominal.	<b>RUE.</b> <i>No define vistas o tiempos.</i>	Vía IV: <i>no define vena.</i> Ioxitalamato de meglumina, Telebrix®35. Dosis: 350 mgI/kg. <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: determinar localización y causa de la obstrucción. La REU revela hidronefrosis moderada e hidroureter marcado derecho por una obstrucción parcial y dinámica del uréter derecho en la unión ureterovesical por sedimento. No reacciones.	91 Caso clínico
<b>Hurón</b>	Pruebas: análisis sangre, orina, ecografía abdominal. Neumocistografía. No ayuno	<b>RUE:</b> basales, t0, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 15, 25, 35, 50, 80 y 110 min (VD, LL-D). Oblicuas, derecha e izquierda, a los 40 min.	Vía IV: vena cefálica. Iopamidol, Scanlux® Dosis: 850 mgI/kg Administración manual, duración 30s.	Objetivo: determinar localización y causa de la obstrucción. La REU revela hidronefrosis e hidroureter bilateral marcado, por una estenosis congénita de la unión ureterovesical bilateral. Nefrograma: t0, pielograma: 3 min, cistograma hasta los 35 min. Estasis de contraste (a las 2h contraste en pelvis, divertículo y uréteres, con opacificación marcada). No reacciones.	97 Caso clínico
<b>Hurón</b>	Pruebas: análisis sangre, ecografía abdominal.	<b>RUE:</b> 1, 10, 20 y 45 min (VD, LL-D, oblicua izq).	Vía IV: no describe vena. Iohexol, Omnipaque® 240. Dosis 880 mgI/kg. <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: confirmar presencia de uréter ectópico. Se observa que el uréter izquierdo se extiende caudalmente al cuello de la vejiga, insertándose en la parte distal de la uretra o vagina. No reacciones.	100 Caso clínico
<b>Hurón</b>	Pruebas: ecografía abdominal	<b>RUE:</b> t0, 1, 2, 5, 7, 10, 20 y 40 min. No describe proyecciones.	Vía IV: vena cefálica Iopamidol, Iopamiro® 300. Dosis: 2 mL/kg <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: describir los hallazgos de la UE en 5 hurones con hidroureter e hidronefrosis. No describe fases, solo la calidad, buena en todos los casos. La RUE permite la caracterización de las alteraciones ecográficas. No reacciones.	102 Caso clínico

<b>Hurón</b>	Pruebas: análisis sangre, ecografía abdominal.	<b>TCUE:</b> varias (no define tiempos).	Vía IV: <i>no define vena.</i> Ioxaglate de meglumina, Hexabrix® 320. Dosis: 2 mL/kg. <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: caracterizar una masa abdominal quística. La TCEU revela hidronefrosis e hidroureter proximal derecho marcado. Después de varias series pequeña cantidad de contraste tracto urinario derecho. Diagnóstico: pseudoquistes pararenal. No reacciones.	98 Caso clínico
<b>Ardilla persa o caucásica</b>	Pruebas: examen físico, y analíticas sangre 7 días pre y 5 post, 18 horas de ayuno, 20 mg/kg de dimeticona 2 horas antes.	<b>RUE:</b> basales y cada 5 min hasta finalizar pielograma (VD y LL).	Vía SC, región escapular. Iodixanol, Visipaque®TM. Dosis: 1300 y 1800 mg/kg. <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: determinar dosis mínima efectiva (1300 vs 1800 mg/kg) y evaluar administración SC. Nefrograma: solo detectable en 1 individuo ( <u>grupo 1300</u> ), inicio 15 min, visualización óptima 20 min, duración 230 min. Pielograma: <u>grupo 1300</u> : inicio 32,50 ± 8,20 min, visualización óptima 45,00 ± 10,60 min, duración 225,00 ± 5,00 min. <u>Grupo 1800</u> : inicio 6,66 ± 9,30 min, visualización óptima 41,66 ± 15,38 min, duración 223,75 ± 6,07 min. Cistograma: 22,5 ± 4,18 min, y 22,83 ± 2,04 min, respectivamente, y duración 240 min. Dosis mínima efectiva 1300 mg/kg, no efectos adversos. Complicado sacar conclusiones, por la redacción del artículo y por como clasifican la calidad del urograma. No describe efectos adversos.	75 Estudio experimental
<b>Ardilla persa o caucásica</b>	Pruebas: examen físico. Ayuno 8 h, 20 mg/kg dimeticona 2 h antes. 7 días periodo de descanso entre estudios.	<b>RUE:</b> basales, cada 2 min hasta finalizar pielograma (VD y LL).	Vía SC: región escapular, vía IO: tibia. Iodixanol, Visipaque® 290, yodado no iónico. Dosis: 1300 mg/kg <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: Compara administración SC e IO. <u>Grupo SC</u> : 20% nefrogramas detectados, inicio: 13,00 ± 1,00 min, visualización óptima 20,00 ± 2,00 min, duración 230,00 ± 4,00 min. Pielograma, inicio: 31,50 ± 7,21 min; visualización óptima: 42,00 ± 11,60 y 222,00 ± 7,00 min. Cistograma y pielograma de buena calidad. <u>Grupo IO</u> : 100% nefrograma identificados, inicio: 0,40 ± 0,32 min, visualización óptima: 1,15 ± 1,09 min, duración: 9,60 ± 0,89 min. Pielograma, inicio 0,80 ± 1,09 min; visualización óptima 5,20 ± 1,78 min, duración 20,80 ± 1,78 min. Buena calidad de todo el urograma. Mejor visualización en proyección VD. Duración del nefrograma y pielograma significativamente menor grupo IO, aunque con mayor calidad. Secuencias de imágenes y vía recomendados: 0, 2, 6 y 12 min administración IO. No reacciones adversas.	78 Estudio experimental
<b>Macaco Rhesus</b>	Pruebas: análisis de sangre y orina, ecografía abdominal.	<b>TCUE:</b> Pre y post contraste, no determina tiempos.	Vía IV: <i>no describe vena.</i> Iohexol, Omnipaque® 300. Dosis: 600 mg/kg. <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: caracterizar las lesiones observadas en la ecografía abdominal (estructura quística en el lado derecho de la vejiga de la orina). Se observa el uréter izquierdo ectópico extramural que termina a nivel de la vagina.	45 Caso clínico

<b>Cerdos miniatura</b>	Pruebas: análisis de sangre y orina, ecografía abdominal. Ayuno 3-4 días.	<b>RUE:</b> basales, 1, 3, 5, 10, 20, 30, 40 y 60 min (VD y LL). Oblicuas a los 30 y 40 min.	Vía IV: vena auricular. Iopamidol, Pamiray®370. Dosis: 3 mL/kg, 1110 mg/kg. Administrado rápidamente. <i>No describe ratio ni modo de administración.</i>	Objetivo: evaluar la técnica y determinar la anatomía y función del tracto urinario. Resultados: no reacción. Describen la anatomía. Inicio nefrograma media 3,14± 0,10 min (rango 3 – 5 min), llegando a una opacificación máxima a los 5 min en 4 cerdos y a los 10 min en los otros 4. El inicio del pielograma se produjo a los 7,50 ± 1,77 min de media (rango 5 – 15 min), cistograma rango de 5 – 30 min.	101 Estudio experimental
<b>Koala</b>	<i>No describen pruebas.</i>	<b>RUE:</b> basales, t0, 1, 3, 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300 y 420 min. (VD hasta 20 min, LL resto proyecciones).	Vía IV: vena cefálica. Diatrioxato de meglumina, Urografin® 60. Dosis: 2,2 mL/kg, 800 mg/kg. <i>No describe ratio o modo de administración.</i>	Objetivo: evaluar el uso de la técnica, describir la anatomía y función renal, y efectos adversos. Grupo 1: 10 koalas clínicamente normales. Grupo 2: 6 koalas hospitalizados para varias razones. Se describe la anatomía del tracto urinario. Fase vascular: no inmediata, se observa al 1 min. Nefrograma: tiempo medio 3 min (rango 1 – 7), máxima opacidad variable (5 – 120 min). A los 120 min el 88% casos nefrograma persistente, a los 240 min el 62%. Pielograma: a los 5 min, en 4 animales, tiempo variable en el resto 3 – 240min. Cistograma muy variable (5 – 240 min). Limitado valor de la UE como indicador función renal por la gran variabilidad. El nefrograma persistente y el retraso de las fases posible correlación con la baja tasa metabólica. Reacciones leves 100 % animales (apnea, contracción musculares o cambios en la FR).	103 Estudio experimental

Tabla 2. Resumen de los estudios realizados del uso de la urografía excretora en medicina veterinaria de pequeños animales, animales exóticos y salvajes. Definiendo la preparación del paciente, la modalidad de imagen utilizada y adquisición de las imágenes realizadas, tipo de contraste, dosis y vía de administración utilizada, y objetivo del estudio e interpretación.

Abreviaciones utilizadas en la tabla. **RUE:** urografía excretora con radiografía; **TCUE:** urografía excretora con tomografía computarizada; **VD:** vista ventrodorsal; **LL:** vista latero-lateral (**LL-D:** derecha, **LL-I:** izquierda); **US:** ecografía; **RX:** radiografía; **IV:** intravenosa; **IO:** intraósea; **SC:** subcutánea; **t0:** tiempo 0, definido como inmediatamente después de la administración de contraste; **h:** horas; **min:** minutos; **s:** segundos; **REF:** referencia bibliográfica.

### 3.8 Complicaciones de la urografía excretora.

Las complicaciones principales de esta técnica están relacionadas con el uso intravenoso de contrastes yodados, y la necesidad de sedación o anestesia para su realización.<sup>28,41</sup>

#### 3.8.1 Administración de contraste yodado intravenoso.

- Interferencia con otras pruebas diagnósticas:
  - Análisis de orina: la administración de contraste aumenta la densidad urinaria, da resultados falsos positivos en la lectura de proteínas, altera la morfología celular, provoca la aparición de cristales e inhibe el crecimiento bacteriano. Por lo que su análisis y cultivos bacterianos deben realizarse antes de la administración del contraste.<sup>25,28,41</sup>
  - Pruebas de imagen. Especialmente con la ecografía abdominal, podemos observar alteraciones ya que la diuresis que provoca la administración de contraste puede causar dilatación de los uréteres, e incrementar la ecodensidad de los riñones.<sup>28</sup>
  
- Efectos adversos.

En medicina humana las reacciones se clasifican entre agudas (aparición < 1 hora); tardías (1 hora – 1 semana), infrecuentes y principalmente relacionadas con reacciones cutáneas mediadas por células T; o sistémicas.<sup>33,109</sup> Las reacciones agudas son las más frecuentes (70%), se dividen en alérgicas y no alérgicas, y según su gravedad en leves, intermedias y severas,<sup>109,33</sup> siendo únicamente las dos últimas las que requieren un tratamiento rápido y un soporte hemodinámico.<sup>109</sup> Las reacciones alérgicas o anafilácticas son impredecibles y no están relacionadas con la dosis de contraste administrada.<sup>33</sup> En cambio, las reacciones no alérgicas son dosis dependientes y generalmente asociadas a la osmolaridad o quimiotaxis.<sup>33</sup>

La mayoría de las reacciones en personas son leves e incluyen náuseas, vómitos o urticaria. Reacciones más severas como broncoespasmo, edema laríngeo, shock hipotensor, edema pulmonar, parada cardíaca o respiratoria están descritas con menor frecuencia.<sup>33</sup> De forma similar los efectos adversos más frecuentemente descritos en perros y gatos son: náuseas, vómitos, cambios en la frecuencia cardíaca o presión arterial.<sup>41,25,28,33,93</sup> Estos generalmente son transitorios y se producen inmediatamente o poco después de la administración del contraste. De forma menos frecuente se ha descrito la aparición de abones, edema facial, faríngeo o laríngeo, e hipotensión o parada cardiorrespiratoria.<sup>28,33,41</sup> La tasa de reacciones adversas ha disminuido después del uso generalizado de medios de contraste no iónicos (12,66% vs 3,13%).<sup>33</sup>

El mecanismo patofisiológico de las reacciones agudas no se conoce con exactitud, aunque pueden estar involucrados la liberación de histaminas, la activación de la cascada del complemento o reacciones inmunomediadas.<sup>33</sup>

La nefropatía inducida por el contraste (NIC) es el efecto adverso sistémico más frecuente en medicina humana. Se describe como absoluta si se produce un aumento de  $\geq 0,50$  mg/dL, o relativa con valores  $\geq$  al 25% entre los valores basales de creatinina y los valores post-contraste, entre los 3 – 5 días de su administración (excluyendo otras causas de fallo renal).<sup>110-114</sup> La enfermedad renal puede ser subclínica o puede variar de una insuficiencia renal transitoria a un fallo renal agudo que requiera terapia de trasplante.<sup>110,111</sup> Un nefrograma persistente en radiografía o TC a las 24 – 48 horas de la administración de contraste es un hallazgo en casos de NIC.<sup>33,93</sup>

En medicina humana en los últimos años ha habido discrepancias en dos puntos:<sup>115</sup>

- Diferente definición entre daño renal agudo general y el causado por el uso de contraste.<sup>115</sup> Actualmente la mayoría de los expertos están de acuerdo con utilizar la definición general de daño agudo para la NIC, con sus criterios establecidos en las guías de “Kidney Disease Improving Global Outcome” del 2012: aumento de creatinina sérica de  $\geq 26,50 \mu\text{mol/L}$  en 48 horas en comparación con los parámetros basales,  $\geq 1,50$  en los 7 días previos, o una producción de orina reducido,  $< 0,50 \text{ mL/kg/h}$  durante 6 horas. En la práctica clínica el aumento de la creatinina sérica es el parámetro más utilizado, solo si este se produce en ausencia de otras etiologías, hecho que puede ser difícil de diferenciar.<sup>115</sup>
- Terminología: daño renal agudo post-contraste vs aumento agudo de la creatinina sérica post-contraste.<sup>115</sup> En medicina humana hasta hace unos 5 años se utilizaba el término NIC para definir el daño renal agudo que se producía después de la administración de contraste. Aunque esta definición puede ser errónea, al vincular directamente el daño con la administración del contraste, difícil de establecer en un entorno clínico (los estudios de su incidencia no tienen un grupo control) y al definir una enfermedad renal, cuando clínicamente esta no siempre se observa. Actualmente el término aceptado para su definición es “daño renal agudo post-contraste (DRA – PC, y sus siglas en inglés PC – AKI, *Post-Contrast Acute Kidney injury*)”, haciendo referencia al vínculo temporal de la administración del contraste y la naturaleza aguda del fenómeno.<sup>115</sup>

En la práctica clínica, no hay una certeza de que un aumento agudo de la creatinina sérica posterior a la administración de contraste (AACS – PC, y sus siglas en inglés PC – AISC, *Post-Contrast Acute Increase in Serum Creatinine*) sea igual a una lesión renal aguda, o, dicho de otra manera, el AACS – PC no es sinónimo de DRA – PC, por lo que estos dos términos se deben describir de forma independiente.<sup>115</sup>



El DRA – PC es un síndrome bien conocido en medicina humana,<sup>25,111</sup> que significativamente impacta en la mortalidad y hospitalización de los pacientes, con una incidencia del 0 al 10% en pacientes sanos y hasta el 27 – 50% en paciente con comorbilidades como enfermedad renal preexistente, nefropatía diabética, entre otras;<sup>111</sup> siendo la tercera causa más frecuente de daño renal agudo.<sup>112,113</sup>

El mecanismo por el cual se produce la DRA – PC es complejo, multifactorial y no se conoce con exactitud.<sup>36,41,110,111</sup> Se cree que es una combinación entre un daño tóxico directo a las células tubulares renal,<sup>36,41,93,111</sup> isquemia secundaria a vasoconstricción de la arteria renal, vasoconstricción en la unión corticomedular (se produce a les 3 – 4 horas de la administración del contraste), alteración de la capacidad de autorregulación renal en la región medular externa por una falta de producción de óxido nítrico, daño oxidativo y alteraciones en las concentraciones de endotelina, adenosina, entre otros.<sup>110,111,113</sup> La vasoconstricción provoca una disminución del RFG, una acumulación del contraste y de las proteínas en los túbulos renales, y puede perpetuar el daño renal y la muerte de células tubulares. Efectos son más graves en pacientes deshidratados, hipovolémicos o con una enfermedad renal preexistente.<sup>33,110</sup> Los efectos adversos están asociados también a las propiedades químicas del medio de contraste, incluyendo la osmolalidad, carga iónica, viscosidad y estructura química. Los medios de contraste más nuevos (como el iohexol o iopamidol), no-iónicos e isoosmolares al plasma, son considerados más seguros, que los medios de contraste más antiguos, iónicos e hiperosmolares (como el diatrizoato). Las dosis de contraste utilizadas también son un factor de riesgo,<sup>33,110,111,114</sup> por lo que se considera esencial utilizar la dosis mínima necesaria para obtener un urograma de calidad diagnóstica.

En medicina veterinaria, el DRA – PC no está bien documentado,<sup>110</sup> existen descripciones en perros, aunque de forma infrecuente,<sup>25</sup> en gatos,<sup>93</sup> y en

conejos,<sup>112,116-118</sup> ratas y ratones en estudios experimentales.<sup>7,112,117</sup> Aunque que, por los diferentes estudios realizados en perros, los cuales describen en perros Beagle una disminución del RFG del 17% después de recibir la segunda dosis de iohexol, sin ser clínicamente evidente y sin provocar alteraciones en los parámetros renales;<sup>36</sup> o únicamente cambios moderados en los parámetros hemodinámicos (bradicardia, taquicardia, hipotensión e hipertensión);<sup>109</sup> y por el uso rutinarios de los medios de contraste para realizar técnicas avanzadas como TC, angiografías, pielografías intravenosas, y procedimientos radiográficos o cardiovasculares intervencionistas<sup>111</sup> sin efectos adversos evidentes, parece que el DRA – PC se produce de forma menos frecuente en medicina veterinaria que en medicina humana.<sup>7,111</sup> No obstante, estudios más recientes describen una incidencia mayor.<sup>110,111</sup> Un estudio realizado en Beagles administrando contrastes no-iónicos e isoosmolares, describe una incidencia de DRA – PC en el 7,60% de los animales (6 individuos), con signos de fallo renal en el 2,20% de los animales. El estudio tiene diferentes limitaciones, su carácter retrospectivo, el número de animales incluidos, el día medio de la obtención de la muestra para determinar la creatinina sérica (día 2, cuando el pico del AACS – PC se produce entre los 3 y 5 días, disminuyendo la detección de los casos de DRA – PC, o subestimando la gravedad del daño renal) o la definición de DRA – PC (AACS – PC  $\geq$  0,50 mg/dL de los valores basales,<sup>111</sup> como anteriormente se ha comentado un aumento  $\geq$  25 % ya sería clasificado como un DRA – PC relativo, que en perros implicarían un aumento de la creatinina sérica del 0,20 mg/dL, permitiendo una mayor detección de los casos).<sup>111</sup> Estos hechos han podido influenciar en los resultados del estudio, no representando la incidencia verdadera del DRA – PC en la población general.<sup>111</sup>

Recientemente se han descrito tres casos de DRA – PC, en 2 perros y un gato, sometidos a una angiografía por TC y embolización transarterial para neoplasia no resecables. En los cuales se observó un AACS – PC a los 3 días de media, con un aumento relativo de creatinina de 410% (rango 260 –

720%). Los tres pacientes eran IRIS 1 y la dosis de contraste administrada fue < 3 mL/kg. Los animales mostraron resolución o mejoría con terapia de soporte durante, hecho que refleja la buena evolución del DRA – PC en animales, si se reconoce rápidamente y se aplica el tratamiento adecuado. La mejoría con terapia de soporte también se ha descrito en un gato con nefrograma persistente y oliguria después de la realización de una UE.<sup>93</sup> Los autores remarcan la importancia de reconocer factores de riesgo antes de realizar estudios con contraste, que, aunque no descritos en medicina veterinaria,<sup>110,111</sup> es lógico considerar que estos pueden ser similares a los descritos en medicina humana.<sup>110</sup>

En conejos, solo existen estudios experimentales sobre el DRA – PC, en los cuales se ha demostrado que el uso de contrastes aumenta el daño renal en casos de isquemia renal aguda,<sup>118</sup> y que el daño renal es mayor si el contraste se administra por la arteria renal que por la vena auricular o arteria femoral, produciéndose a las 24 horas de su administración.<sup>116</sup>

### **3.8.2 Necesidad de sedación o anestesia.**

El riesgo de mortalidad perianestésica es variable en función de la especie, clasificación ASA (American Society of Anesthesiologist) del paciente y de si se realiza sedación o anestesia. En la actualidad existen dos estudios que describen el riesgo de mortalidad en conejos (Tabla 3 – 5).<sup>119,120</sup>

Species	Number at risk	Number of anaesthetic- and sedative-related fatalities	Risk of anaesthetic/ sedative-related death (%)	95% CI (%)
Dog	98 036	163	0.17	0.14–0.19
Cat	79 178	189	0.24	0.20–0.27
Rabbit	8209	114	1.39	1.14–1.64
Guinea pig	1288	49	3.80	2.76–4.85
Ferret	601	2	0.33	0.04–1.20*
Hamsters	246	9	3.66	1.69–6.83*
Chinchilla	334	11	3.29	1.38–5.21
Rat	398	8	2.01	0.87–3.92*
Other small mammals	232	4	1.72	0.47–4.36*
Budgerigar	49	8	16.33	7.32–29.66*
Parrot	127	5	3.94	1.29–8.95*
Other birds	284	5	1.76	0.57–4.06*
Reptiles	134	2	1.49	0.18–5.29*
Other	50	0	0	0–7.11*

\*Exact 95% confidence interval.

Tabla 3. Riesgo de muerte asociados a sedación o anestesia en pequeños animales.

Fuente bibliográfica: BRO. Brodbelt DC, Blissitt KJ, Hammond RA, Neath PJ, Young LE, Pfeiffer DU, Wood JL. The risk of death: the confidential enquiry into perioperative small animal fatalities. *Vet Anaesth Analg* 2008.

Species	General anaesthesia or sedation	Deaths	Number of anaesthetics and sedations	Risk (%)	95% CI (%)
Dog	General anaesthesia	154	85 827	0.18	0.15–0.21
	Sedation	9	12 209	0.07	0.03–0.12
	Overall	163	98 036	0.17	0.14–0.19
Cat	General anaesthesia	177	69 234	0.26	0.22–0.29
	Sedation	12	9944	0.12	0.05–0.19
	Overall	189	79 178	0.24	0.20–0.27
Rabbit	General anaesthesia	107	7211	1.48	1.20–1.76
	Sedation	7	998	0.70	0.18–1.22
	Overall	114	8209	1.39	1.14–1.64

Tabla 4. Riesgo de muerte asociados a sedación o anestesia en perros, gatos y conejos.

Fuente bibliográfica: BRO. Brodbelt DC, Blissitt KJ, Hammond RA, Neath PJ, Young LE, Pfeiffer DU, Wood JL. The risk of death: the confidential enquiry into perioperative small animal fatalities. *Vet Anaesth Analg* 2008.

Species	Health status*	Number of anaesthetic-related deaths	Estimated number of anaesthetics	Risk of anaesthetic- and sedation-related death (%)	95% CI (%)
Dog	Healthy	49	90 618	0.05	0.04–0.07
	Sick	99	7418	1.33	1.07–1.60
	Overall†	163	98 036	0.17	0.14–0.19
Cat	Healthy	81	72 473	0.11	0.09–0.14
	Sick	94	6705	1.40	1.12–1.68
	Overall†	189	79 178	0.24	0.20–0.27
Rabbit	Healthy	56	7652	0.73	0.54–0.93
	Sick	41	557	7.37	5.20–9.54
	Overall†	114	8209	1.39	1.14–1.64

Tabla 5. Riesgo de muerte asociados a sedación o anestesia en perros, gatos y conejos sanos y enfermos.

Fuente bibliográfica: BRO. Brodbelt DC, Blissitt KJ, Hammond RA, Neath PJ, Young LE, Pfeiffer DU, Wood JL. *The risk of death: the confidential enquiry into perioperative small animal fatalities*. *Vet Anaesth Analg* 2008.

Brodbelt DC, *et al.* 2008, describe un mayor riesgo de muertes relacionadas con la sedación o anestesia en conejos en comparación con perros y gatos (1,39% vs 0,17% vs 0,24%, respectivamente). Aumentando dicho riesgo en función de la clasificación ASA de los pacientes, siendo en animales sanos (ASA 1 – 2) del 0,73% en conejos, 0,05% en perros y 0,11% en gatos; y en animales enfermos (ASA 3 – 5) del 7,37% en conejos, 1,33% en perros y 1,40% en gatos. La mayoría de las muertes se producen en el periodo postoperatorio, dentro de las tres primeras horas de la recuperación anestésica (Tabla 6). Por lo que es esencial un buen control de los pacientes durante la recuperación de sedaciones o anestésias.

Timing of death	Dogs (%)	Cats (%)	Rabbits (%)
After pre-medication	1 (1)	2 (1)	0
Induction of anaesthesia	9 (6)	14 (8)	6 (6)
Maintenance of anaesthesia	68 (46)	53 (30)	29 (30)
Postoperative death*	70 (47)	106 (61)	62 (64)
0–3 hours postoperative	31	66	26
3–6 hours postoperative	11	9	7
6–12 hours postoperative	12	7	13
12–24 hours postoperative	13	12	9
24–48 hours postoperative	3	10	3
Unknown time	0	2	4
Total	148 (100)	175 (100)	97 (100)

\*Postoperative deaths were additionally categorized by time after anaesthesia. The per cent values are given within parenthesis.

Tabla 6. Periodos en los cuales se producen las muertes durante la anestesia en perros, gatos y conejos.

Fuente bibliográfica: BRO. Brodbelt DC, Blissitt KJ, Hammond RA, Neath PJ, Young LE, Pfeiffer DU, Wood JL. The risk of death: the confidential enquiry into perioperative small animal fatalities. *Vet Anaesth Analg* 2008.

Lee *et al.* 2018, confirma el elevado ratio de mortalidad perianestésico en conejos, siendo en este estudio del 4,8%, con un ratio de complicaciones gastrointestinales después de anestésias o sedaciones del 38%.

### 3.9 Contraindicaciones de la urografía excretora.

En medicina humana, los factores de riesgo de toxicidad aguda incluyen reacciones previas a los medios de contraste yodados, asma y otros tipos de alergia.<sup>7,25,33,41,109</sup>

Los factores de riesgo para el DRA – PC incluyen: enfermedad renal preexistente, personas de edad avanzada, sexo femenino, enfermedad cardiovascular, diabetes mellitus (con o sin enfermedad renal asociada), enfermedades que provocan una reducción en el volumen intravascular efectivo (cirrosis hepática, fallo cardiaco congestivo), hipotensión, deshidratación, anemia, volumen del medio de contraste administrado,

y uso de medicaciones nefrotóxicas.<sup>33,36,55,110,113,115</sup> Siendo la presencia y extensión de una enfermedad renal preexistente el mayor riesgo de DRA – PC, especialmente la nefropatía diabética.<sup>33,113</sup> Hasta el 60% de los pacientes que desarrollan un DRA – PC tienen una historia previa de disfunción renal.<sup>113</sup> En la mayoría de los pacientes el DRA – PC es transitorio y los valores renales vuelven a niveles normales, aunque en el 56% de los pacientes con enfermedad renal crónica progresa a un fallo renal irreversible.<sup>113</sup> Además, el riesgo del DRA – PC se describe como acumulativo, siendo mayor cuando están presentes múltiples factores de riesgo.<sup>110</sup> El riesgo aumenta al 5% cuando un mismo paciente presenta dos factores de riesgo, y hasta el 30% en pacientes con 3 factores de riesgo.<sup>113</sup>

En medicina humana se han creado unas guías para la prevención del DRA – PC y prácticas clínicas recomendadas (Figura 14).<sup>115</sup> No existe un tratamiento específico para mitigar los posibles efectos del DRA – PC, por lo que el foco en la práctica clínica tiene que ser su prevención: identificando los pacientes de elevado riesgo, y los factores de riesgo asociados al procedimiento: tipo de contraste (dimérico > monomérico, alta > baja osmolaridad), volumen (dosis de contraste), ruta de administración (intra-arterial > intravenosa), y múltiples administraciones de contraste.<sup>36,41,115</sup> Para reducir los riesgos se aconseja: administrar el menor volumen posible, asegurar euvolemia, e interrumpir medicaciones con fármacos potencialmente nefrotóxicos  $\geq$  24 horas antes del estudio (ej. Inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina, metformina o antiinflamatorios no esteroideos).<sup>113-115</sup>

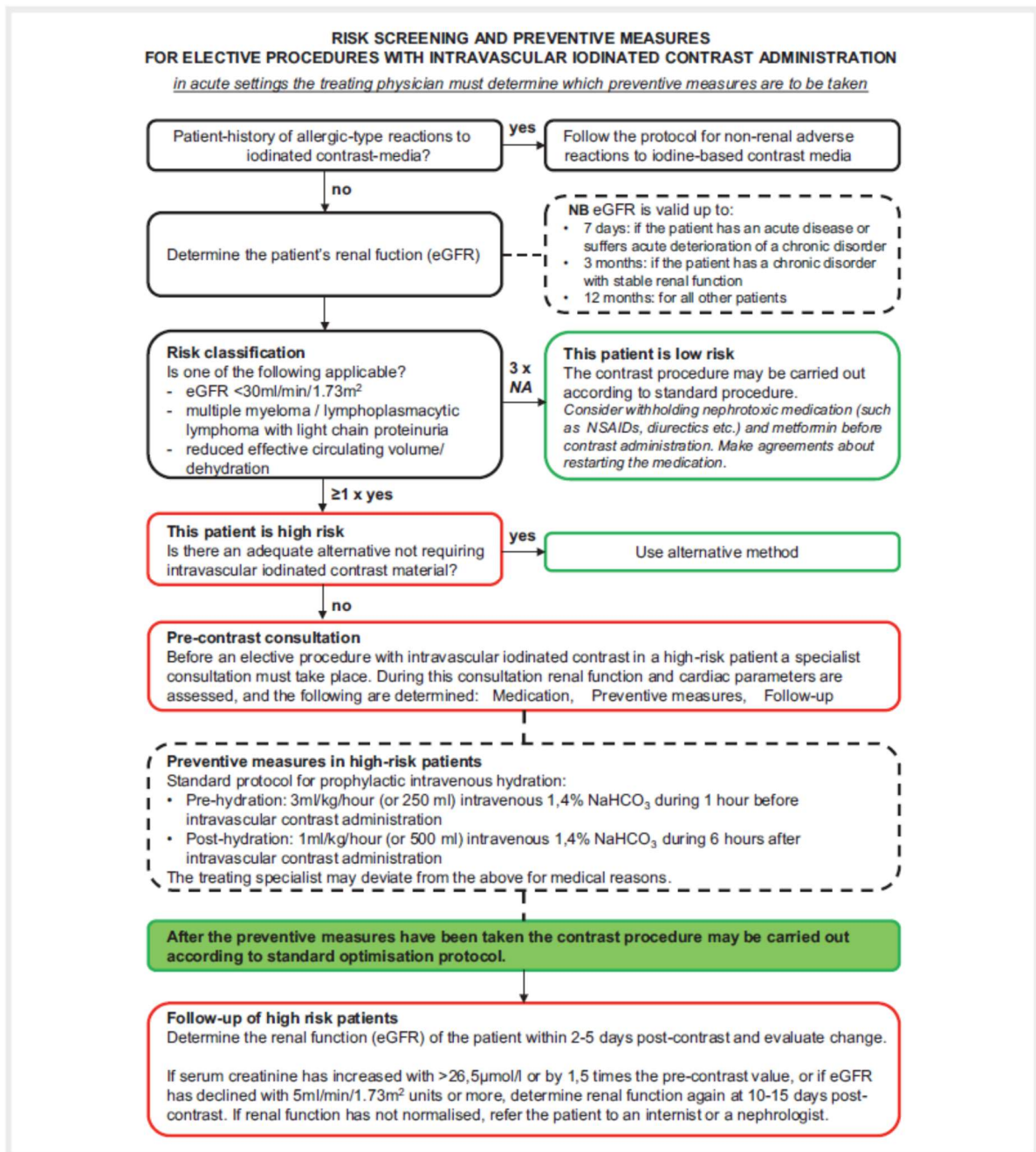


Figura 14. Diagrama de flujo para prevenir el DRA – PC en la práctica clínica.

Fuente bibliográfica: Nijssen EC, Rennenberg R, Nelemans P, Van Ommen V, Wildberger JE. Post-Contrast Acute Kidney Injury and Intravenous Prophylactic Hydration: An Update. Rofo 2021

La administración de fluidoterapia es el método más efectivo para reducir el riesgo de DRA – PC.<sup>88,112,113,115</sup> En humana se recomienda administrar fluidoterapia intravenosa con fluidos cristaloides isotónicos  $\geq 12$  horas antes del estudio y continuar su administración



durante 6 – 12 horas de la administración,<sup>110</sup> para reducir la osmolaridad y viscosidad en sangre, aumentar el volumen intravascular, diluir el contraste a nivel intravascular y promover la diuresis.<sup>113-115</sup> La hidratación disminuye la actividad del sistema renina-angiotensina, disminuyendo las sustancias vasoconstrictoras, como la endotelina, mitigando la reducción del flujo sanguíneo y reduciendo la hipoxia celular.<sup>113</sup> No se aconseja forzar la diuresis con manitol o furosemida ya que su administración está asociada a un aumento del riesgo de DRA – PC. En personas con alto riesgo se recomienda el uso de vasodilatadores (ej. Teofilina),<sup>110</sup> y se están realizando estudios sobre el uso del ácido ascórbico, por su efecto antioxidante que puede disminuir el daño renal, y de la N-acetil cisteína, por su efecto protector a nivel de los túbulos renales.<sup>113-115</sup>

En medicina veterinaria, basándonos en los estudios de medicina humana, los animales diabéticos también deberían ser considerados de riesgo y administrar infusiones de Ringier Lactado a ratios de 1 – 3 mL/kg/h como mínimo 3 – 6 horas antes del estudio, y a 1 mL/kg/h durante un mínimo de 3 horas después de la administración del contraste.<sup>36</sup> Algunos autores recomiendan también administrar fluidoterapia de mantenimiento como mínimo 2 horas antes y después del estudio en perros sin patología renal.<sup>36</sup> Mientras que una enfermedad renal preexistente no es por sí misma una contraindicación en todos los casos para el uso de contrastes yodados, ya que estos se pueden administrar tanto en pacientes azotémicos como en no azotémicos asegurando una buena hidratación, se recomienda utilizar la menor dosis necesaria para obtener un urograma de buena calidad.<sup>33</sup> El uso de contraste si está completamente contraindicado en pacientes deshidratados o con un fallo renal oligúrico.<sup>33</sup> En pacientes con mieloma múltiple, se deben usar con mucha precaución, porque las proteínas de Bence Jones pueden reacción con el medio de contraste y precipitar a nivel de los túbulos renales.<sup>28</sup> Pacientes atópicos también tendrán mayor riesgo de reacciones anafilácticas.<sup>41</sup> En perros el uso de dosis bajas de dopamina podría prevenir el daño a nivel tubular, ya que se ha demostrado que promueve la eliminación del contraste.<sup>88</sup>

# Hipótesis

### 1. Hipótesis principal

- La urografía excretora es una técnica segura y efectiva en conejos sanos, que permite una visualización óptima de las estructuras del tracto urinario.

### 2. Hipótesis secundarias

- Las diferentes modalidades de imagen, radiografía, tomografía computarizada y fluoroscopia permiten obtener un urograma de excelente calidad en conejos sanos, e identificar las diferentes fases de la urografía excretora. Siendo la radiografía la que presenta una mayor interferencia con el tracto gastrointestinal, y la tomografía computarizada la que proporciona un mayor detalle anatómico del tracto urinario.
- Las fases de la urografía excretora se inician y desaparecen a un tiempo más temprano en conejos sanos que en perros, por la mayor tasa metabólica de la especie.
- La mínima dosis necesaria para producir un urograma de excelente calidad diagnóstica con el uso de radiografía es mayor en conejos sanos que en perros y gatos, por la mayor interferencia del tracto gastrointestinal con las pruebas de imagen.

# Objetivos

## 1. Objetivo principal

- Describir la técnica de urografía excretora en conejos sanos, y la incidencia de efectos adversos asociados a la administración de contraste yodado intravenosa.

## 2. Objetivos secundarios

- Determinar el inicio de las fases de la urografía excretora (vascular, nefrográfica, pielográfica y cistográfica) con las diferentes modalidades de imagen, comparando su sensibilidad en la detección de las fases y la calidad del urograma en conejos sanos.
- Determinar la desaparición de las fases de la urografía excretora con radiografía en conejos sanos.
- Determinar el efecto de la dosis contraste sobre la opacificación de las fases de la urografía excretora con radiografía, determinando la dosis mínima necesaria para obtener un urograma de excelente calidad diagnóstica en conejos sanos.

# Estudios

## 1. ESTUDIO 1

“Description and comparison of excretory urography performed during radiography and computed tomography for evaluation of the urinary system in healthy New Zealand White rabbits (*Oryctolagus cuniculus*)”

Este artículo ha sido publicado en el *American Journal of Veterinary Research*, 2017.

PMID: 28345995, DOI: 10.2460/ajvr.78.4.472

Autores: Laura Vilalta LV, Dipl ECZM (small mammal);<sup>1</sup> Raúl Altuzarra LV, Dipl ECVDI,<sup>1</sup> Yvonne Espada LV, PhD;<sup>1,2</sup> Elisabet Domínguez LV, PhD, Dipl ECVDI;<sup>1</sup> Rosa Novellas LV, PhD, Dipl ECVDI;<sup>1,2</sup> Jaime Martorell LV, PhD, Dipl ECZM (small mammal)<sup>1,2</sup>

1. Fundació Hospital Clínic Veterinari, Bellaterra.
2. Departament de Medicina i Cirurgia Animals, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra.

Citaciones hasta diciembre del 2021:

- Su Y, Fang K, Mao C, Xiang S, Wang J, Li Y. 640-slice DVCT multi-dimensionally and dynamically presents changes in bladder volume and urine flow rate. *Exp Ther Med*. 2018;15:2557-2562.
- Altuzarra R, Vilalta L, Martorell J, Novellas R, Espada Y. Description of digital fluoroscopic excretory urography in healthy New Zealand rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *Vet Rec*. 2018;10:568.
- Hallman RM, Brandao J. Diagnostic Imaging of the Renal System in Exotic Companion Mammals. *Vet Clin North Am Exot Anim Pract*. 2020;23:195-214.
- Buch D, Saldanha A, Muehlbauer E, Oliveira WJ, Gil EMU Froes TR. Computed tomographic findings of the urinary tract in rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *J Exot Pet Med* 2021;40:1-7.
- ИСТРАНОВ, А. Л., et al. Применение динамической микционной компьютерной цистоуретрографии в диагностике и оценке эффективности лечения патологии урогенитальной области. *Урология*, 2019, no 5, p. 53-58.

## 2. ESTUDIO 2

“Description of digital fluoroscopic excretory urography in healthy New Zealand rabbits (*Oryctolagus cuniculus*)”

Este artículo ha sido publicado en el *Veterinary Record*, 2018.

PMID: 30232121, DOI: 10.1136/vr.104618

Autores: Raúl Altuzarra LV, Dipl ECVDI;<sup>1</sup> Laura Vilalta LV, Dipl ECZM (small mammal);<sup>1</sup> Jaime Martorell LV, PhD, Dipl ECZM (small mammal);<sup>1,2</sup> Rosa Novellas LV, PhD, Dipl ECVDI;<sup>1,2</sup> Yvonne Espada LV, PhD.<sup>1,2</sup>

1. Fundació Hospital Clínic Veterinari, Cerdanyola del Vallès.
2. Departament de Medicina i Cirurgia Animals, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona, Cerdanyola del Vallès.

Citaciones hasta diciembre del 2021:

- Hallman RM, Brandao J. Diagnostic Imaging of the Renal System in Exotic Companion Mammals. *Vet Clin North Am Exot Anim Pract.* 2020;23:195-214.
- Buch D, Saldanha A, Muehlbauer E, Oliveira WJ, Gil EMU, Froes TR. Computed tomographic findings of the urinary tract in rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *J Exot Pet Med* 2021;40:1-7.



### 3. ESTUDIO 3

“Effect of contrast medium dose and image acquisition time on urographic phases opacification in healthy male White New Zealand Rabbits (*Oryctolagus cuniculus*) assessed by radiography”

Este artículo será enviado para valorar su futura publicación en el *Veterinary Radiology and Ultrasound*.

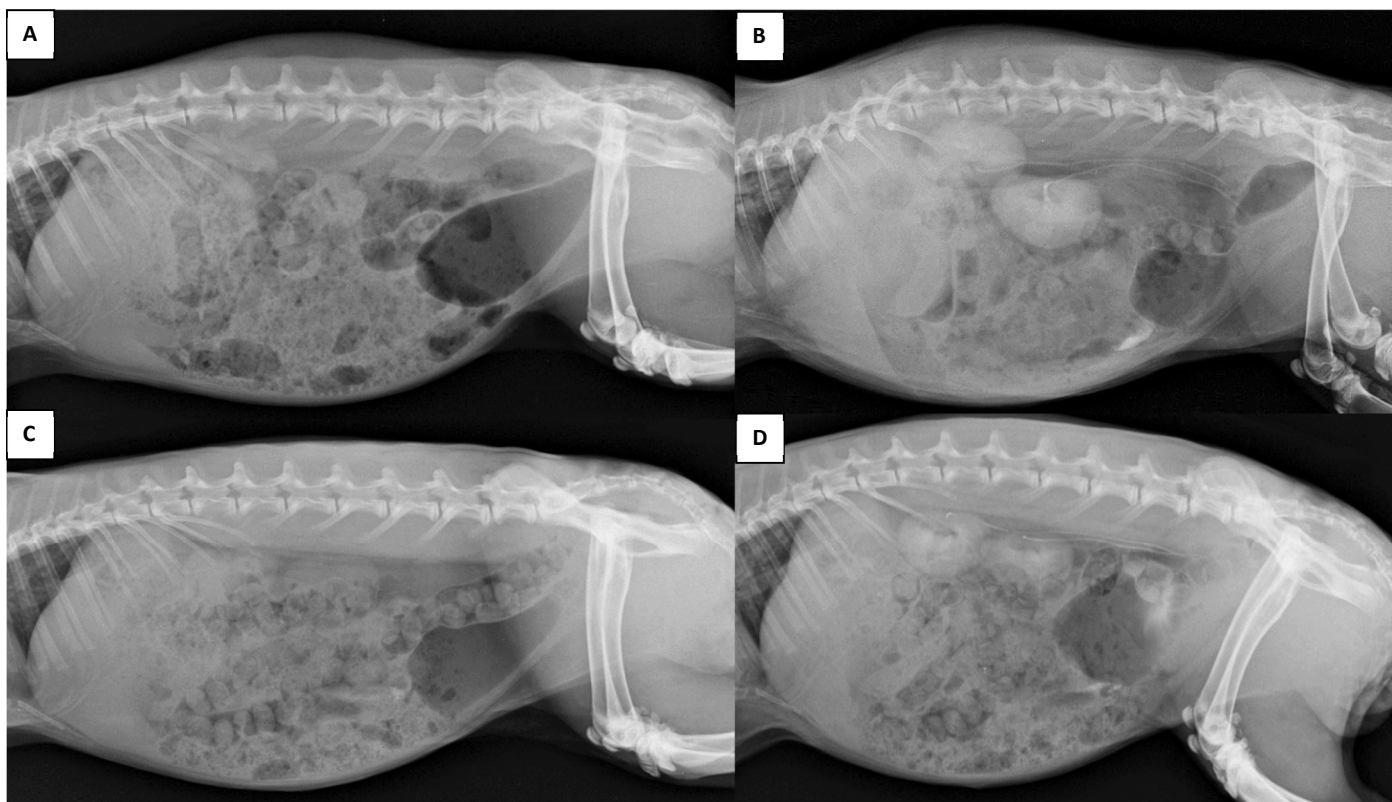
Autores: Laura Vilalta LV, Dipl ECZM (small mammal);<sup>1,3</sup> Raúl Altuzarra LV, Dipl ECVDI;<sup>4</sup> Yvonne Espada LV, PhD;<sup>5,6</sup> Alejandra García de Carellán LV, Dip ECVAA;<sup>7</sup> Rosa Novellas LV, PhD, Dipl ECVDI;<sup>5,6</sup> Jaime Martorell LV, PhD, Dipl ECZM (small mammal).<sup>5,6</sup>

1. Hospital Veterinario de Referencia, Valencia.
2. Departamento de Medicina y Cirugía Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad Católica de Valencia “San Vicente Mártir”, Valencia.
3. Hospital Veterinario Canis, Girona.
4. Centro Clínico Veterinario Indautxu, Bilbao.
5. Fundació Hospital Clínic Veterinari, Cerdanyola del Vallès.
6. Departament de Medicina i Cirurgia Animals, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona, Cerdanyola del Vallès.
7. Memvet – Centre de Referencia Veterinària, Palma de Mallorca.

# Discusión general

La presente tesis doctoral demuestra que la UE es una técnica de imagen segura y efectiva para la visualización del tracto urinario en conejos. No se detectaron alteraciones en las pruebas diagnósticas realizadas, y solo un conejo mostró efectos adversos durante la realización de RUE (7,69% de los casos), el cual presentó una reacción menor a la administración del contraste, desarrollando apnea que respondió a la estimulación torácica en pocos segundos. Estos resultados podrían indicar una baja incidencia de efectos adversos en conejos, aunque para comprobar esta hipótesis se necesitaría un mayor seguimiento de los pacientes, controles analíticos más exhaustivos después de la realización del procedimiento, aumentar el número de animales incluidos en el estudio, y evaluar la incidencia de efectos adversos en animales con patología renal.

Para mejorar la visualización de las estructuras del tracto urinario, y evitar los efectos adversos de los medios de contraste, los pacientes tienen que ser preparados adecuadamente.<sup>28,41</sup> En los diferentes estudios realizados, todos los animales presentaban un estado de hidratación adecuado, sin alteraciones detectadas en el tracto urinario después de la realización de pruebas laboratoriales y pruebas de imagen. Los conejos poseen unas características digestivas únicas y complejas, al ser herbívoros monogástricos, fermentadores de intestino grueso (gran distensión, con contenido ingesta, gas y heces),<sup>1</sup> que pueden dificultar la visualización de las estructuras abdominales por desplazamiento, compresión o superposición en varias pruebas de imagen. El ayuno en conejos no está recomendado, por su baja efectividad en disminuir la cantidad de ingesta o gas,<sup>31</sup> y alto riesgo de estasis gastrointestinal.<sup>1</sup> En los estudios realizados con RUE, se realizaron enemas para evacuar el material fecal del recto y colon distal, y mejorar la visualización de la unión ureterovesical. Su efectividad en esta especie puede ser relativa, ya que rápidamente se observó de nuevo material fecal en dichas estructuras anatómicas. También se realizó una neumocistografía en los estudios de RUE, para mejorar la visualización de la unión ureterovesical y del contraste en la vejiga urinaria. El contraste negativo que ofreció el aire instilado en la vejiga de la orina facilitó la visualización de la llegada del contraste. En algunos casos parte de este aire entró en la glándula vesicular, realizando su anatomía y localización (Figura 15). En los estudios CTUE y FUE no se realizaron estos procedimientos, por su mayor resolución y menor interferencia con las estructuras gastrointestinales.



*Figura 15. Neumocistografía realiza en los estudios RUE en conejos. A – Se observa el contraste negativo que proporciona el aire instilado en la vejiga de la orina. B – Se observa el contraste negativo en la glándula vesicular y vejiga de la orina. C – Material fecal en el colon distal y recto, presente a los pocos segundos de la realización del enema. D – Interferencia del material fecal localizado en el colon distal y recto con la visualización de la unión ureterovesical.*

La vía de administración elegida en los estudios realizados fue la vía intravenosa, por ser la vía más frecuentemente utilizada en la mayoría de los estudios,<sup>5,16,29,42,44,45,47,49,56,66,70,74, 76,77,90,91,93,95,96,97,100-103,105</sup> la más utilizada en la práctica clínica y por la facilidad de cateterización en conejos. En todos los individuos se cateterizó la vena cefálica, para evitar interferencias del inicio de las fases por una diferente circulación venosa del contraste durante la comparación de las diferentes modalidades de UE.

El medio de contraste utilizado en los estudios fue el iopamidol (Scanlux® 300), contraste de segunda generación, no iónico, con una osmolaridad de baja a moderada, una baja incidencia de efectos adversos en otras especies, y descrito como seguro en conejos.<sup>16,77</sup>

El cual fue administrado durante 30 segundos (ratio 0,30 a 0,50 mL/s), de forma manual en los estudios RUE y FUE, y con un inyector de presión en el estudio TCUE. La dosis de

contraste utilizada en los estudios 1 y 2, comparando las diferentes modalidades de imagen, fue de 850 mgI/kg, una de las más recomendadas en conejos,<sup>1,29</sup> por la óptima visualización de las estructuras del tracto urinario que proporciona. En el estudio 3, realizado con el objetivo de determinar la dosis mínima necesaria para obtener un urograma de excelente calidad, se utilizaron diferentes dosis de contraste 200 mgI/kg, 400 mgI/kg y 600 mgI/kg, comparando cada estudio con sus imágenes basales y las realizadas con la dosis de 850 mgI/kg, con una calidad categorizada como excelente.

La UE demostró ser una técnica efectiva para la visualización del tracto urinario en conejos, ofreciendo una calidad diagnóstica excelente con el uso de RUE y CTUE, y buena con la FUE, administrando 850 mgI/kg de Iopamidol, y permitiendo detectar la aparición de las diferentes fases del urograma. En todos los estudios se realizaron imágenes basales, como medidas de densidad o atenuación pre-contraste, para poder realizar un comparativa con las imágenes post-contraste de cada estudio. El tiempo de realización de las imágenes, esencial para determinar el inicio de las fases del urograma, y el momento de máxima visualización de las estructuras, fue diferente con cada modalidad de imagen. La secuencia escogida fue la que permitía detectar con mayor precisión el inicio de cada fase y evaluar la calidad general del urograma. Durante la RUE se realizaron imágenes cada 10 – 15 segundos durante los tres primeros minutos después de la administración del medio de contraste, y a los 3, 5, 10 y 20 minutos, ampliando el tiempo en las siguientes secuencias. En los estudios de TCUE y FUE, su carácter dinámico, permitió la obtención de imágenes desde el primer segundo de la inyección del medio de contraste, pudiéndose evaluar la cavidad abdominal completa con la FUE, pero únicamente un riñón con la porción proximal del uréter en la fase dinámica del TCUE, realizándose secuencias cada 2 segundos de esta zona anatómica, y una vez detectado el contraste en la parte proximal del uréter un escáner completo de la cavidad abdominal. Las secuencias de imágenes realizadas en los estudios permitieron establecer el inicio de las diferentes fases de la urografía en conejos, dichos resultados nos permitirán conocer los tiempos de realización de las imágenes en pacientes clínicos, y tener unos valores de referencia para comparar cualquier alteración observada.

En la tabla 7 se agrupan los resultados del inicio de las fases con las diferentes modalidades de imagen. Las diferencias observadas pueden ser debidas a limitaciones temporales y espaciales (tiempo necesario para cambiar la posición del paciente o el chasis, y radioprotección por parte del operador), a la evaluación de un único riñón vs tracto urinario completo por restricciones anatómicas,<sup>52</sup> o por la resolución de la técnica. Aunque se ha descrito que no se observan diferencias en la detección del cistograma en función de si la vejiga esta parcialmente llena o vacía,<sup>90</sup> los diferentes grados de distensión de la vejiga, la proyección radiográfica realizada (principalmente la proyección ventrodorsal), y el efecto de dilución del contraste con la orina, si pudo dificultar la identificación del medio de contraste en el interior de la vejiga con la RUE. Por lo contrario, la mayor resolución de la TCUE y FUE evidencio fácilmente el medio de contraste en la vejiga urinaria.

FASES	MODALIDAD IMAGEN						COMENTARIOS
	RUE		TCUE		FUE		
	Med	RIQ	Med	RIQ	Med	RIQ	
VASCULAR	39 s*	37-39 s	18 s	12-20 s	Inmediata	-	*No se puede determinar inicio, se observa en la primera radiografía.
NEFROGRAMA	39 s*				10 s	10-12 s	*No se puede determinar inicio, se observa en la primera radiografía.
<i>Corticomedular</i>	-	-	20 s	14-22 s		-	
<i>Tubular</i>	-	-	32 s	14-16 s		-	
PIELOGRAMA	1,63 m	1,43-1,92 m	1,63 m	1,50-1,67 m	1,39 m	1,27-1,6 m	
CISTOGRAMA	2,20 m	1,85-2,47 m	< 1 m pielto*	-	1,58 m	1,44-1,72 m	*Retraso por la realización del escáner abdominal completo.

Tabla 7. Resultados del inicio de las fases de la urografía excretora con las diferentes modalidades de imagen administrando iopamidol a 850 mg/kg.

Abreviaturas: RUE, Urografía excretora con radiografía; TCUE, Urografía excretora con tomografía computarizada; FUE, Urografía excretora con fluoroscopia; Med, mediana; RIQ, rango intercuartil; s, segundos; m, minutos.

El inicio de las fases ha demostrado ser muy variable en función de la especie en los estudios realizados en animales exóticos y salvajes, pareciendo tener una relación con la tasa metabólica de la especie. En perros y gatos se ha determinado que realizar imágenes seriadas inmediatamente después de la administración del contraste, a los 5, 20 y 40 minutos es la secuencia recomendada para detectar todas las fases en su máxima densidad y tamaño con la RUE,<sup>41,90</sup> e inmediatamente después de la administración del contraste, a los 3 min, y entre los 5 y 15 minutos (parte caudal abdomen) en el caso de la TCUE.<sup>41,49,74</sup>

Aunque no es posible establecer una comparativa directa entre los estudios realizados en las diferentes especies, por sus diferentes protocolos, parece que en conejos el inicio y máxima visualización de las fases sería más similar a lo descrito en perros y gatos, aunque en un tiempo ligeramente más temprano. Por lo que las recomendaciones de las secuencias a realizar en conejos, extraídas de los resultados de la presente tesis doctoral, serían inmediatamente después de la administración del contraste, y a los 3, 5, 10, 20 y 40 minutos, en la RUE y FUE. Y en el caso de la TCUE, inmediatamente después de la administración del contraste, y a los 3 minutos. Pudiéndose valorar la realización de secuencias adicionales para una mayor caracterización de las patologías del tracto urinario, en los siguientes casos:

- evaluar las dos subfases del nefrograma, la diferente atenuación entre el córtex y la médula renal puede ofrecer información valiosa para patologías renales parenquimatosas, en este caso la recomendación sería realizar la primera secuencia entre los 15 y 20 segundos del inicio de la administración del contraste (nos permite evaluar la fase vascular y la corticomedular del nefrograma), y a los 40 segundos del inicio de la administración del contraste (para evaluar la fase tubular del nefrograma). Realizando el escáner únicamente de la porción craneal del tracto urinario (incluyendo ambos riñones y porción proximal de los uréteres) para disminuir la radiación del paciente.
- evaluar la fase cistográfica con un mayor contenido de contraste, en este caso se podrían realizar secuencias entre los 5 – 20 minutos post-contraste. Realizando el escáner únicamente de la porción caudal de los uréteres a la uretra proximal para disminuir la radiación del paciente.

En el estudio de RUE, también se estableció el momento de desaparición de las fases del nefrograma y pielograma, detectándose una mayor persistencia de ambas fases en conejos (46,16% de conejos con nefrograma persistente a las 9 horas vs < 25% de perros con nefrograma persistente a las 2 horas).<sup>84</sup> En koalas también se han descrito nefrogramas y pielogramas más prolongados que en perros y gatos.<sup>103</sup>

Aunque la dosis utilizada, directamente proporcional a la duración del nefrograma,<sup>84</sup> y la precisión en la evaluación de las imágenes puede dificultar la comparativa entre estudios. Es importante diferenciar la duración prolongada del nefrograma de los conejos, de la opacidad persistente del nefrograma que se produce en casos de DRA – PC, durante el cual el nefrograma se observa inicialmente con una buena opacificación, aumentando con el tiempo sin la producción del pielograma.<sup>93</sup> En cambio en todos los conejos del estudio se observó una disminución progresiva de la opacidad del nefrograma con el tiempo, produciéndose las sucesivas fases del urograma.

Los excelentes resultados en la visualización y opacidad de las estructuras del tracto urinario en conejos con dosis de 850 mgI/kg de Iopamidol, crearon la necesidad de estudiar dosis menores, demostradas efectivas en perros y gatos.<sup>42,47,90,105</sup> Siendo el principal objetivo de establecer la dosis mínima necesaria la disminución del riesgo de posibles efectos adversos asociados a la administración intravenosa de contrastes yodados.<sup>36,110,111</sup> La modalidad de imagen escogida para su estudio fue la REU, por su gran disponibilidad en la mayoría de los centros veterinarios y por ser la que presenta una mayor interferencia entre el contenido del tracto gastrointestinal y los órganos de la cavidad abdominal. Por lo que determinar la dosis mínima necesaria con esta modalidad de imagen asegura que esta también sea efectiva con otras técnicas de imagen con menor interferencia y mayor resolución, como la TCUE y la FUE. Las dosis estudiadas fueron 200, 400 y 600 mgI/kg, la opacidad se graduó en pobre, moderada o excelente, comparando su opacidad con los estudios basales de cada individuo y los obtenidos en el primer estudio con una dosis de 850 mgI/kg, categorizadas como excelentes. La secuencia de imágenes realizada fue establecida en función del rango en el cual se detectaban cada fase en los estudios 1 y 2.

Las dosis de 200 y 400 mgI/kg proporcionaron una opacificación de pobre a moderada, haciéndolas no adecuadas para la evaluación del tracto urinario en conejos. La dosis de 600 mgI/kg proporcionó una mejor opacidad, categorizada de moderada a excelente, siendo la fase pielográfica donde se observaron más variaciones. Considerando que un grado de opacidad moderada, implica una opacificación parcial, y teniendo en cuenta que en pacientes clínicos tendremos mayor interferencia en las pruebas radiográficas por la



mayor presencia de gas en el tracto gastrointestinal, y el hecho de que disponemos de resultados con opacidades excelentes en la RUE con una dosis de 850 mgI/kg, la dosis de 600 mgI/kg tampoco se consideró adecuada para la evaluación del tracto urinario en conejos.

No se observaron diferencias significativas entre el inicio de las fases y las dosis estudiadas, siendo más difícil la detección del inicio de las fases en diversas proyecciones ventrodorsales, a diferencia de lo que está descrito en otras especies,<sup>105</sup> probablemente por la mayor interferencia del tracto gastrointestinal de los conejos y su inherente pobre opacidad de las estructuras de la cavidad abdominal en radiografía. Aunque el número de animales incluidos en el estudio ha podido influenciar en los resultados, el inicio de las fases no difiere mucho de los resultados observados en los primeros estudios.

# Conclusiones

1. La urografía excretora es una técnica segura y efectiva en conejos sanos, que permite una visualización óptima del tracto urinario con dosis de iopamidol de 850 mg/l/kg con las diferentes técnicas de imagen (radiografía, tomografía computarizada y fluoroscopia).
2. La calidad del urograma es excelente con la urografía excretora realizada con radiografía y tomografía computarizada, y buena con la urografía excretora realizada con fluoroscopia en conejos sanos. La urografía excretora realizada con tomografía computarizada ofrece un mayor detalle anatómico de las estructuras del tracto urinario, especialmente del parénquima renal. La urografía excretora realizada con radiografía presenta una mayor interferencia con el tracto gastrointestinal.
3. El inicio de las fases del urograma se ha establecido con las diferentes modalidades de imagen en conejos sanos, siendo similar al descrito en perros y gatos, aunque ligeramente más temprano.
4. La desaparición de las fases de nefrograma y pielograma se ha establecido con la urografía excretora con radiografía en conejos sanos, siendo más prolongados que en perros.
5. La dosis mínima necesaria para obtener un urograma de excelente calidad con radiografía es 850 mg/l/kg de iopamidol en conejos sanos, siendo dosis inferiores insuficientes para una completa evaluación del tracto urinario en conejos, a diferencia de lo que se ha descrito en otras especies.

# Futuros estudios

A partir de los resultados obtenidos en la presente tesis doctoral, se abre la puerta a diferentes líneas de investigación, tales como:

- Efectos de la velocidad de la administración del contraste en el inicio de las fases de la UE en conejos sanos. Como se ha descrito en otras especies, tanto la dosis utilizada, como el tiempo de administración y el volumen de contraste administrado interfieren en la calidad del urograma e inicio de las fases. Además, como se ha podido observar en el estudio de TCUE el inicio de las fases ocurre antes de finalizar la administración del contraste. Una mayor velocidad en la administración del contraste aumentaría el volumen y carga de contraste filtrada, pudiendo modificar el inicio de las fases o proporcionar una mayor calidad del urograma, incluso con dosis menores.
- Determinar la dosis mínima efectiva con otras modalidades de imagen, principalmente la TC, en conejos sanos. Como se ha descrito en otras especies, la dosis de contraste se puede disminuir con el uso de la TCUE, obteniendo resultados con una excelente capacidad diagnóstica, por su mayor precisión, mayor detalle anatómica y menor interferencia con las estructuras de la cavidad abdominal.
- Valorar la utilidad y capacidad diagnóstica de la UE en conejos con patología del tracto urinario con las diferentes modalidades de imagen, principalmente con la RUE, por su mayor disponibilidad, y la TCUE, por su mayor resolución de las estructuras del tracto urinario.
- Describir las técnicas de UE en otras especies, determinando el inicio de las fases, y momento de máxima opacidad en animales sanos, para poder realizar una interpretación óptima de los resultados de las UE en un ámbito clínico. De especial interés, en hurones, por la gran cantidad de casos clínicos ya descritos en esta especie, y en cobayas, por su elevada incidencia de patologías del tracto urinario en la clínica diaria, aunque menos descritas en la bibliografía, y menor calidad de los estudios realizados con dosis de 850 mg/kg (valoración clínica personal).

# Referencias bibliográficas

1. Harcourt-Brown FM. Diagnosis of renal diseases in rabbits. *Vet Clin North Am Exot Anim Pract* 2013;16:145-174.
2. Reese S, Fehr M. Small mammal: radioanatomy. In: Krautwald-Junghanns ME, Pees M, Reese S, Tully T, eds. *Diagnostic Imaging of Exotic Pets*, 1<sup>st</sup> edn: Schlütersche, 2011:158-183.
3. Dimitrov R, Kostov D, Stamatova K, Yordanova V. Anatomotopographical and morphological analysis of normal kidneys of rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). *Trakia Journal of Sciences* 2012;10:79-84.
4. Buch D, Saldanha A, Muehlbauer E, Oliveira WJ, Gil EMU Froes TR. Computed tomographic findings of the urinary tract in rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *J Exot Pet Med* 2021;40:1-7.
5. Dimitrov R, Chaprazov T. An anatomic and contrast enhanced radiographic investigation of the rabbit kidneys, ureters, and urinary bladder. *Revue de Med Vet* 2012;163:469-474.
6. Dorotea SB, Banzato T, Bellini L, Contiero B, Zotti A. Radiographic anatomy of Dwarf rabbit abdomen with normal measurements. *Bulg J Vet Med* 2016;19:96-107.
7. Hallman RM, Brandao J. Diagnostic Imaging of the Renal System in Exotic Companion Mammals. *Vet Clin North Am Exot Anim Pract* 2020;23:195-214.
8. Sheehan HL, Davis JC. Anatomy of the pelvis in the rabbit kidney. *J Anat* 1959;93:499-502.
9. Uthmanthil RK, Hachem RY, Gagea M, Reitzel RA, Borne AT, Tinkey PT. Urinary catheterization of male rabbits: a new technique and a review of urogenital anatomy. *J Am Assoc Lab Anim Sci* 2013;52:180-185.
10. Ardíaca M, Bonvehi C, Cuesta M, Gomez A, Montesinos A. Seminal Vesiculitis in Three Pet Rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *J Am Anim Hosp Assoc* 2016;52:335-240.
11. Schuhmann B, Cope I. Urethral diverticulum in a male pet rabbit. *Vet Record Case Rep* 2014;2:300089
12. Dimitrov R, Stamatova K, Kostov D. Comparative imaging of the vesicular glands in New Zealand White rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *Turk J Vet Anim Sci* 2013;37:97-101.

13. Klaphake E, Paul-Murphy J. Disorders of the reproductive and urinary system. In: Quesenberry KE, Carpenter JE, eds. Ferrets, rabbits and rodents: clinical medicine and surgery. 3<sup>rd</sup> ed. St Louis: Elsevier Saunders, 2012:217-231.
14. Hinton M. Kidney disease in the rabbit: a histological survey. *Lab Anim* 1981;15:263-265.
15. Quesenberry K. Diseases of geriatric rabbits, in Proceedings. 1<sup>st</sup> Cong Cét Québécois 2013;574-604.
16. Zoller G, Langlois I, Alexander K. Glomerular filtration rate determination by computed tomography in two pet rabbits with renal diseases. *J Am Vet Med Assoc* 2017;250:681-687.
17. Harcourt-Brown F. Radiographic signs of renal disease in rabbits. *Vet Rec* 2007;160:787:794.
18. Reavill DR, Lennos A. Disease Overview of the Urinary Tract in Exotic Companion Mammals and Tips on Clinical Management. *Vet Clin North Am Exot Anim Pract*, 2020;23:169-193.
19. Reese S, Hein J. Small mammal. Special diagnostic, pathological findings: Abdomen. In: Krautwald-Junghanns ME, Pees M, Reese S, Tully T, eds. *Diagnostic Imaging of Exotic Pets*, 1<sup>st</sup> edn: Schlütersche, 2011:280-297.
20. Bays TB. Geriatric Care of Rabbits, Guinea Pigs, and Chinchillas. *Vet Clin North Am Exot Anim Pract* 2020,23:567-593.
21. Clauss M, Burger B, Liesegang A, Del Chicca F, Kaufmann-Bart M, Riond B, Hässig M, Hatt JM. Influence of diet on calcium metabolism, tissue calcification and urinary sludge in rabbits (*Oryctolagus cuniculus*). *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* 2012;96:798-807.
22. Kohles M. Gastrointestinal anatomy and physiology of select exotic companion mammals. *Vet Clin North Am Exot Anim Pract* 2014;17:165-178.
23. O'Malley B. Rabbits. In: O'Malley, eds. *Clinical Anatomy and Physiology of Exotic Species*. 1<sup>st</sup> edn: Elsevier, 2005:173-195.
24. Rademacher N. Diagnostic Imaging of the Urinary tract. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 2019;49:261-286.



25. Seiler GS. Kidneys and Ureters. In: Thrall DE, eds. *Veterinary Diagnostic Radiology*. 7<sup>th</sup> edn: Elsevier, 2018:823-845.
26. Osborne CA; Albasan H, Lulich JP, Nwaokorie E, Koehler LA, Ulrich LK. Quantitative analysis of 4468 uroliths retrieved from farm animals, exotic species, and wildlife submitted to the Minnesota Urolith Center: 1981-2007. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 2009;39:65-78.
27. Reese S, Hein J. Small mammal: radiography. In: Krautwald-Junghanns ME, Pees M, Reese S, Tully T, eds. *Diagnostic Imaging of Exotic Pets*, 1<sup>st</sup> edn: Schlütersche, 2011;144-157.
28. Heuter KJ. Excretory urography. *Clin Tech Small Anim Pract* 2005;20:39-45.
29. Kaya M, Bumin A, Sen Y, Alkan Z. Comparison of excretory urography, ultrasonography-guided percutaneous antegrade pyelography, and renal Doppler ultrasonography in rabbits with unilateral partial ureteral obstruction: an experimental study. *Kafkas Univ Vet Fak Derg* 2010;16:735-741.
30. Banzato T, Bellini L, Contiero B, Selleri P, Zotti A. Abdominal ultrasound features and reference values in 21 healthy rabbits. *Vet Rec* 2015;176:101.
31. Silva KG, Andrade C, Stomaier CS. Influence of simethicone and fasting on the quality of abdominal ultrasonography in New Zealand White rabbits. *Acta Vet Scand* 2017;59:48.
32. Reese S, Fehr M. Small mammal: ultrasonography. In: Krautwald-Junghanns ME, Pees M, Reese S, Tully T, eds. *Diagnostic Imaging of Exotic Pets*, 1<sup>st</sup> edn: Schlütersche, 2011:184-187.
33. Owen M. Radiographic, Computed Tomography and Magnetic Resonance Contrast Media. In: Thrall DE, eds. *Veterinary Diagnostic Radiology*. Eds Thrall DE, 7<sup>th</sup> edn: Elsevier, 2018: 96-109.
34. Latham C. Practical contrast radiography: 1. Contrast agents. In *Pract* 2005;27:348-352
35. Sartori P, Rizzo F, Taborda N, Anaya V, Caraballo A, Saleme C, Carrizo R, Cayo M, Peña A. Medios de contraste en imágenes. *Rev. Argentina de Radiol* 2013;77:49-62.

36. Kirberger RM, Cassel N, Carstens A, Goddard A. The effect of repeated intravenous iohexol administration on renal function in healthy beagles – a preliminary report. *Acta Vet Scand* 2012;54:47.
37. Feeney DA, Barber DL, Culver DH, Prasse KW, Thrall DE, Lewis RE. Canine excretory urogram: correlation with base-line measurements. *Am J Vet Res* 1980;41:279-283.
38. Hsieh YC, Liu TJ, Liang KW, Her HY, Lin WW, Wang KY, Chen YT, Ting CT, Lee WL. Iso-osmolar contrast medium better preserves short- and long-term renal function after cardiovascular catheterizations in patients with severe baseline renal insufficiency. *Int J Cardiol* 2006;111:182-184.
39. Barrett BJ, Katzberg RW, Thomsen HS, Chen N, Sahani D, Soulez G, Heiken JP, Lepanto L, Ni Zh, Ni NZ, Nelson R. Contrast-induced nephropathy in patients with chronic kidney disease undergoing computed tomography: a double – blind comparison of iodixanol and iopamidol. *Invest Radiol* 2006;41:815-821.
40. Secrest S, Essman S, Nagy J, Schultz L. Effects of furosemide on ureteral diameter and attenuation using computed tomographic excretory urography in normal dogs. *Vet Radiol Ultrasound* 2013;54:17-24.
41. Habing AM, Byron JK. Imaging of the urinary tract. In: Weisse C, Berent A, eds. *Veterinary image-guided interventions*. 1<sup>st</sup> edn: Wiley Blackwell, 2015;263–288.
42. Ajadi RA, Adetunji A, Omoerah VO, Okoh JU. Influence of dosage and chemical restraints on feline excretory urography. *J S Afr Vet Assoc* 2006;77:202-204.
43. Rembeaux H, Langlois I, Burdick B, McCleery B, Dunn M. Placement of ureteral stents in three rabbits for the treatment of obstructive ureterolithiasis. *J Small Anim Pract* 2020;62:1-7.
44. Schwarz T, Bommer N, Parys M, Thierry F, Bouvard J, Pérez-Accino J, Saunders J, Longo M. Four-dimensional CT excretory urography is an accurate technique for diagnosis of canine ureteral ectopia. *Vet Radiol Ultrasound* 2021;62:190-198.
45. Kim JM. Computed tomographic excretory urography for diagnosing ectopic ureter in a female rhesus macaque (*Macaca mulatta*). *J Med Primatol* 2020;49:44-46.
46. Alexander K, Ybarra N, del Castillo JR, Morin V, Gauvin D, Bichot S, Beauchamp G, Troncy E. Determination of glomerular filtration rate in anesthetized pigs by use of

- three-phase whole-kidney computed tomography and Patlak plot analysis. *Am J Vet Res* 2008;69:1455-62.
47. Schmidt DM, Scrivani PV, Dykes NL, Goldstein RM, Erb HN, Reeves AP. Comparison of glomerular filtration rate determined by use of single-slice dynamic computed tomography and scintigraphy in cats. *Am J Vet Res* 2012;73:463-468.
48. Feeney DA, Osborne CA, Jessen CR. Effect of multiple excretory urograms on glomerular filtration or normal dogs: a preliminary report. *Am J Vet Res* 1980;41:960-963.
49. Samii VF, McLoughlin MA, Mattoon JS, Drost WT, Chew DJ, DiBartola SP, Hoshaw-Woodard S. Digital fluoroscopic excretory urography, digital fluoroscopic urethrography, helical computed tomography, and cystoscopy in 24 dogs with suspected ureteral ectopia. *J Vet Intern Med* 2004;18:271-281.
50. Fox AJ, Sharma A, Secret SA. Computed tomographic excretory urography features of intramural ectopic ureters in 10 dogs. *J Small Anim Pract* 2016;57:210-213.
51. Barthez PY, Begon D, Delisle F. Effect of contrast medium dose and image acquisition timing on ureteral opacification in the normal dog as assessed by computed tomography. *Vet Radiol Ultrasound* 1998;39:524-527
52. Eken E, Çorumluoglu Ö, Paksoy Y, Besoluk K, Kalayci I. A study on evaluation of ED virtual rabbit kidney models by multidetector computed tomography images. *Anatomy* 2009;3:40-44.
53. Etedali NM, Reetz JA, Foster JD. Complications and clinical utility of ultrasonographically guided pyelocentesis and antegrade pyelography in cats and dogs: 49 cases (2007-2015). *J Am Vet Med Assoc* 2019;254:826-834.
54. D'Ovidio D, Pirrone F, Donnelly TM, Greco A, Meomartino L. Ultrasound-guided percutaneous antegrade pyelography for suspected ureteral obstruction in 6 pet guinea pigs (*Cavia porcellus*). *Vet Q.* 2020;40:198-204.
55. Adin CA, Herrgesell EJ, Nyland TG, Hughes JM, Gregory CR, Kyles AE, Cowgill LD, Ling GV. Antegrade pyelography for suspected ureteral obstruction in cats: 11 cases (1995-2001). *J Am Vet Med Assoc* 2003;222:1576-1581.

56. Dimitrov R, Stamatova-Yovcheva K. Imaging anatomical radiological investigation of rabbit urinary bladder and pelvic urethra. *Animal Health, Prod and Hyg* 2015;4:387-392.
57. Hua X, Xu Y, Liu G, Sun L, Zhang H, Pan Q, Liu D, Li B. An Experimental model of anterior urethral stricture in rabbits with local injections of bleomycin. *Urology* 2018;116:230.e9-230.e15.
58. Faydaci G, Tartan F, Tuncer M, Eryidirim B, Celik O, Keser SH, Özgül A. Comparison of two experimental models for urethral structure in the anterior urethra of the male rabbit. *Urology* 2012;80:225-227.
59. Tong K, Weisse C, Berent AC. Rigid urethrocystoscopy via a percutaneous fluoroscopic – assisted perineal approach in male dogs. 10 cases (2005 – 2014). *J Am Vet Med Assoc* 2016,15:918-925.
60. Di Girolamo N, Bongiovanni L, Ferro S, Melidone R, Nicoletti A, Duca VD, Donnelly TM, Selleri P. Cystoscopic diagnosis of polypoid cystitis in two pet rabbits. *J Am Vet Med Assoc* 2017;251:84-89.
61. Divers SJ, Sladakovic I. Exotic Mammal Diagnostic and Surgical Endoscopy. In: Quesenberry KE, Carpenter JW, eds. *Ferret, rabbits and rodents: clinical medicine and surgery*. 4<sup>th</sup> edn: WB Saunders, 2021:498-514.
62. Wenger S, Hatt JM. Transurethral Cystoscopy and Endoscopic Urolith Removal in Female Guinea Pigs (*Cavia porcellus*). *Vet Clin North Am Exot Anim Pract*, 2015;18:359-367.
63. Annet L,, Hermoye L, Peeters F, Jamar F, Deboux JP, Beers BEV. Glomerular filtration rate: assessment with dynamic contrast-enhanced MRI and a cortical-compartment model in the rabbit kidney. *J Magn Reson Imaging* 2004;20:843-849.
64. Mehl JN, Lüpke M, Brenner AC, Dziallas P, Wefstaedt P, Seifert H. Measurement of single kidney glomerular filtration rate in dogs using dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging and the Rutland-Patlak plot technique. *Acta Vet Scand* 2018;60-72.
65. Cavrenne R, Mai W. Time-resolved renal contrast-enhanced MRA in normal dogs. *Vet Radiol Ultrasound* 2009;50:58-64.
66. Lord PF, Scott RC, Chan KF. Intravenous Urography for Evaluation of Renal Diseases in Small Animals. *J Am Anim Hosp Assoc* 1974;10:139-152.

67. Pabon-Ramos W, Caoili E, Cohan R, Stephen T, Francis I, Ellis J, Korobkin M, Schipper M. Excretory urography: trends in clinical use and diagnostic yield. *Abdom Imaging* 2010;35:607-611.
68. Longo M, Andreis ME, Pettinato C, Ravasio G, Rabbogliatti V, Zani DD, Giancamillo MD, Zani DD. Use of the bolus tracking technique for the tomographic evaluation of the ureterovesicular junction in dogs and assessment of dose records. *BNC Vet Res* 2016;12:64.
69. Secrest S, Bugbee A, Waller K, Jiménez DA. Comparison of transverse computed tomographic excretory urography images and maximum intensity projection images for diagnosing ectopic ureters in dogs. *Vet Radiol Ultrasound* 2017;58:163-168.
70. Je H, Lee SK, Jung JW, Jang Y, Chhoe Y, Choy J. Split-bolus CT urography with synchronous nephrographic and excretory phase in dogs: comparison of image quality with three-phase CT urography and optimal allocation ratio of contrast medium. *J Vet Sci* 2020;21:e55.
71. Huynh M. Permanent Implantable Medical Devices in Exotic Pet Medicine. *Vet Clin North Am Exot Anim Pract* 2019;22:521-538.
72. Barteis JE. Feline intravenous urography. *J Am Anim Hosp Assoc* 1973;9:349-353.
73. Kneller SK. Role of the excretory urogram in the diagnosis of renal and ureteral disease. *Vet Clin North Am* 1974;4:843-861.
74. Kopp KI, Schaub S, Peppler C, Acker A, Pueckler K. Computed tomographic and sonographic findings in a dog with duplex kidney, ureter duplex and ectopic ureterocele. *Tierarztl Prax Ausg K Kleintiere Heimtiere* 2020;48:44-48.
75. Veshkini A, Taviana M, Haghdoost IS, Masouleh MN, Savojbolaghi SH. Excretory Urography by Subcutaneous Injection of Iodixonal in Persian Squirrel (*Sciurus Anomalous*). *Pakist Vet J* 2011;31:1-6.
76. Saglam M, Ugurel S, Kilciler M, Dakak M, Bumin A, Somuncu I. Intraosseous urography compared with intravenous urography: An experimental study in the rabbit model. *Turk J Vet Anim Sci* 2004;28:933-942.
77. Porzio P, Pharr JW, Allen AL. Excretory urography by intraosseous injection of contrast media in a rabbit model. *Vet Radiol Ultrasound* 2001;42:238-243.

78. Tavana M, Peighmabarzadeh S, Savoibolaghy S. Comparison between intraosseus and subcutaneous excretory urography in Persian squirrels. *Res Opin Anim Vet Sci* 2015;5:25-29.
79. Günel I, Köse N, Gürer D. Compartment syndrome after intraosseous infusion: an experimental study in dogs. *J Pediatr Surg* 1996;31:1491-1493.
80. Simoes AFS, Pinto D, Araujo BM, Lopes P, Viamonte B. CT Nephrogram- an overlooked sign that may help you reach the diagnosis, in *Proceedings. Eur Cong Radiol* 2012;C-1038:1-67.
81. Kawashima A, Vrtiska TJ, LeRoy AJ, Hartman RP, McCollough CH, King JBF. CT urography. *Radiographics* 2004;24:S35-S54.
82. Kawashima A, Sandler CM, Goldman SM, Raval BK, Fishman EK. CT of renal inflammatory disease. *Radiographics* 1997;17:851-866.
83. Urban BA, Fishman EK. Renal lymphoma: CT patterns with emphasis on helical CT. *Radiographics* 2000;20:197-202.
84. Feeney DA, Barber DL, Osborne CA. The functional aspect of the nephrogram in excretory urography: a review. *Vet Radiol* 1982;23:42-45.
85. Saunders HS, Dyer RB, Shifrin RY, Scharling ES, Bechtold RE, Zagoria RJ. The CT nephrogram: implications for evaluation of urinary tract disease. *Radiographics* 1995;15:1069-1085.
86. Goshima S, Kanematsu M, Nishibori H, Kondo H, Tsuge Y, Yokoyama R, Myyoshi T, Onozuka M, Shiratori Y, Moriyama N, Bae KT. Multi-detector row CT of the kidney: optimizing scan delays for bolus tracking techniques of arterial, corticomedullary, and nephrographic phases. *Eur J Radiol* 2007;63:420-426.
87. Yuh BI, Cohan RH. Different phases of renal enhancement: role in detecting and characterizing renal masses during helical CT. *AJR Am Roentgenol* 1999;173:747-755.
88. Choi J, Lee H, Chang D, Lee K, Eom K, Lee Y, Choi M, Yoon J. Effect of Dopamine on Excretory Urographic Image Quality and the Prevention of Contrast-Induced Nephropathy in Dogs. *J Vet Med Sci* 2001;63:383-388.
89. Wolin EA, Hartman DS, Olson R. Nephrographic and pyelographic analysis of CT urography: principles, patterns, and pathophysiology. *AJR Am J Roentgenol* 2013;200:1210-1014.

90. Feeney DA, Thrall DE, Barber DL, Culver DH, Lewis RE. Normal canine excretory urogram: effects of dose, time, and individual dog variation. *Am J Vet Res* 1979;40:1596-1604.
91. Kis I, Krsteska GJ, Brkljacic M, Torti M, Vnuk D, Hohsteter M, Vucicevic M, Matijatko. Unilateral ureteral obstruction in a ferret – case report. *Veterinarski arhiv* 2020;90:93-99.
92. D’Anjou MA, Bédard A, Dunn ME. Clinical significance of renal pelvic dilatation on ultrasound in dogs and cats. *Vet Radiol Ultrasound* 2011;52:88-94.
93. Carr AP, Reed AI, Pope ER. Persistent nephrogram in a cat after intravenous urography. *Vet Radiol Ultrasound* 1994;35:350-354.
94. Vilalta L, Espada Y, Martorell J. Diagnostic uses of excretory urography in small mammals. Proceedings in: International Conference on Avian, Herpetological and Exotic Mammal Medicine, 2022.
95. Knotek Z, Wildnerová L, Jekl V. Diagnostic urography of renal disorder in rats. *Acta Vet (Brno)* 2004;73:187-194.
96. D’Ovido D, Melidone R, Rossi G, Albarella S, Noviello E, Fioretti A, Meomartino L. Multiple congenital malformations in a ferret (*Mustela putorius furo*). *J Exot Pet Med*, 2015;24:92-97.
97. Vilalta L, Dominguez E, Altuzarra R, Sibera N, Espada Y, Novellas R, Martorell J. Imaging diagnosis – Radiography and ultrasonography of bilateral congenital ureterovesical junction stenosis causing hydronephrosis and hydroureter in a ferret (*Mustela putorius furo*). *Vet Radiol Ultrasound* 2017;58:E31-E36.
98. Sailler A, Kolb H, Billet JP. Surgical management of a pararenal pseudocyst in a ferret (*Mustela putorius furo*). *J Exot Pet Med* 2019;30:60-64.
99. Di Girolamo N, Carnimeo A, Nicoletti A, Selleri P. Retrocaval ureter in a ferret. *J Small Anim Pract* 2015;56:355.
100. MacNab TA, Newcomb BT, Ketz-Riley C, Pechman ED, Rochat MC. Extramural Ectopic Ureter in a Domestic Ferret (*Mustela putorius furo*). *J Exot Pet Med* 2010;19:313-316
101. Jung JH, Chang JH, Choi MC. Excretory Urography in the Minipig. *Journal of Life Science* 2007;17:1211-1216.

102. Girolamo DN, Selleri P. Excretory Urography in Ferrets with Hydroureter or Hydronephrosis: Five Cases, 2012 – 2016. Proceedings in Exoticscon conferences 2016, 411.
103. Carlisle CH, Brown AS, Filippich LJ, Keynolds K, Reynolds WT. Intravenous urography in the koala (*Phascolarctos cinereus*). Vet Radiol 1989;30:34-40.
104. Kishimoto M, Yamada K, Watanabe A, Miyamoto K, Iwasaki T, Miyake YI. Comparison of excretory urographic contrast effects of dimeric and monomeric non-ionic iodinated contrast media in dogs. J Vet Med Sci 2007;69:713-715.
105. Agut A, Murciano J, Sanchez-Valverde MA, Laredo FG, Tovar MC. Comparison of different doses of iohexol with amidotrizoate for excretory urography in cats. Res Vet Sci 1999;67:73-82.
106. Grunkemeyer VL, Sura PA Baron ML, Souza MJ. Surgical Repair of an Inguinal Herniation of the Urinary Bladder in an Intact Female Domestic Rabbit (*Oryctolagus cuniculus*). J Exot Pet Med 2010;19:249-254.
107. Di Girolamo N, Selleri P. Medical and Surgical Emergencies in Ferrets. Vet Clin North Am Exot Anim Pract 2016;19:431-464.
108. Rozear L, Tidwell AS. Evaluation of the ureter and ureterovesicular junction using helical computed tomographic excretory urography in healthy dogs. Vet Radiol Ultrasound 2003;44:155–164.
109. Pollard RE, Puchalski SM, Pascoe PJ. Hemodynamic and serum biochemical alterations associated with intravenous administration of three types of contrast media in anesthetized dogs. Am J Vet Res 2008;69:1268-1273.
110. Griffin MA, Culp WTN, Palm CA, Poppenga RH. Suspected contrast-induced nephropathy in three sequential patients undergoing computed tomography angiography and transarterial embolization for nonresectable neoplasia. J Am Vet Med Assoc 2021;259:1163-1170.
111. Goic JB, Koenigshof AM, McGuire LD, Klinger AC, Beal MB. A retrospective evaluation of contrast-induced kidney injury in dogs (2006-2012). J Vet Emerg Crit Care (Sant Antonio). 2016;26:713-719.
112. Kiss N, Hama P. Histopathological Evaluation of Contrast-Induced Acute Kidney Injury Rodent Models. Biomed Res Int 2016;2016:1-15.



113. Shams E, Mayrovith HN. Contrast-Induced Nephropathy: A Review of Mechanisms and Risks. *Cures* 2021;13:e14842.
114. Azzalini L, Spagnoli V, Ly HQ. Contrast-Induced Nephropathy: From Pathophysiology to Preventive Strategies. *Can J Cardiol* 2016;32:247-255.
115. Nijssen EC, Rennenberg R, Nelemans P, Van Ommen V, Wildberger JE. Post-Contrast Acute Kidney Injury and Intravenous Prophylactic Hydration: An Update. *Rofo* 2021;193:151-159.
116. Wang Z, Ren K. Evaluation of iodine contrast-induced acute kidney injury via different injection routes using BOLD-MRI. *Ren Fail* 2019;41:341-353.
117. Sugiura T, Hirasawa Y, Toyoshi T, Matsumura Y. Effects of Agmatine on Contrast-Induced Nephropathy in Rats and Rabbits. *Biol Pharm Bull* 2020;43:1556-1561.
118. Schultz SG, Lavelle KJ, Swain R. Nephrotoxicity of radiocontrast media in ischemic renal failure in rabbits. *Nephron* 1982;32:113-117.
119. Brodbelt DC, Blissitt KJ, Hammond RA, Neath PJ, Young LE, Pfeiffer DU, Wood JL. The risk of death: the confidential enquiry into perioperative small animal fatalities. *Vet Anaesth Analg* 2008;35:365-373.
120. Lee HW, Machin H, Adami C. Peri-anaesthetic mortality and nonfatal gastrointestinal complications in pet rabbits: a retrospective study on 210 cases. *Vet Anaesth Analg* 2018;45:520-528.