

Bio-mecatrónica: aspectos innovadores de la mecanización

Perspectivas de la sinergia entre distintas áreas tecnológicas: mecanización agraria, instrumentación y control

La Bio-mecatrónica es una forma innovadora de mecanización perteneciente al ámbito de la Ingeniería Rural, que va más allá de los conceptos convencionales de mecanización. Según el Profesor Murase (2000) se basa en la sinergia obtenida con la combinación de distintas áreas tecnológicas: ingeniería de mecanización agrícola, instrumentación, control y tecnología de sistemas (inteligencia artificial y tecnología de la información).

El término mecatrónica se acuñó en los años 70, cuando los microprocesadores se introdujeron de forma generalizada en los controladores industriales. Su incorporación en el ámbito agrario como bio-mecatrónica es más reciente debido a la necesidad de abordar las peculiaridades propias de este entorno de trabajo, que es:

- muy agresivo para los equipos (presencia de polvo y otros materiales abrasivos)
- variable en temperatura, humedad e iluminación, y
- poco estructurado, poco predecible, exigiendo una algorítmica compleja.

A su vez, trabajar en este ámbito implica afrontar la elevada variabilidad de los productos agrícolas cuando se comparan con los materiales industriales.

Todo desarrollo en Bio-mecatrónica está básicamente compuesto por: unos elementos sensores de muy diversa naturaleza (eléctricos, termoeléctricos, de carga, de presión, de aceleración, de flujo, ópticos, electromagnéticos, electroquímicos, de visión, de desplazamiento, de posición, de ultrasonidos, etc.), uno/varios microprocesador/es y/o controlador/es, y unos actuadores cuyo principio de funcionamiento puede ser neumático, hidráulico o eléctrico.

Un aspecto fundamental es el proceso de calibración y validación de los equipos sensores y de control. Sólo esto puede garantizar unos resultados acordes con las expectativas. Por otra parte, los ele-

La Bio-mecatrónica es una forma innovadora de mecanización perteneciente al ámbito de la Ingeniería Rural, que va más allá de los conceptos convencionales de mecanización. Algunos de los desarrollos que se han derivado de la Bio-mecatrónica son ya de amplia difusión en el sector agrícola p.ej. el control electrónico de la dosis en abonadoras centrifugas. A pesar de ello, el término Bio-mecatrónica no está difundido. En este artículo se efectúa una revisión del presente y el futuro inmediato de la Bio-mecatrónica a través de una enumeración visual de gran variedad de dispositivos, que esperamos ayude a vislumbrar las posibilidades de esta área de la Mecanización Agraria.

Pilar Barreiro¹, Margarita Ruiz-Altisent²

¹ Profesora Titular Interina.

² Catedrática de Universidad

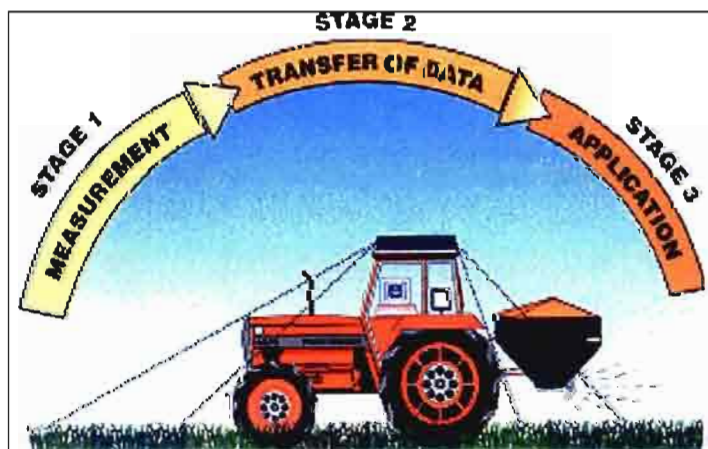
mentos sensores y controladores han de estar en consonancia, así por ejemplo la resolución y precisión del sistema sensor limita la regulación del sistema controlador. Este hecho cobra especial relevancia en los equipos mecatrónicos basados en mapas, ya que la regulación del controlador está limitada a la resolución espacial de la representación (distancia entre medidas consecutivas).

Algunos de los desarrollos que se han derivado de la Bio-mecatrónica son ya de amplia difusión en el sector agrícola como el control electrónico de la dosis en abonadoras centrifugas, o los sistemas GPS de posicionamiento global (Global Positioning Systems) combinados con sensores de flujo de producto (grano u otro...) en las cosechadoras para la obtención de mapas de rendimiento de producción. A pesar de ello, el término Bio-mecatrónica no está difundido y de ahí el interés de este artículo en aglutinar distintos desarrollos ya comercializados y otros en fase de experimentación, pertenecientes a este ámbito; a lo largo de este artículo se identificarán con la notación –C– (comercializadas) y –E– (en experimentación) respectivamente. Para agilizar la lectura en muchos casos se emplearán las siglas de los distintos centros de investigación en cursiva, indicándose su significado al final del texto en forma de glosario.

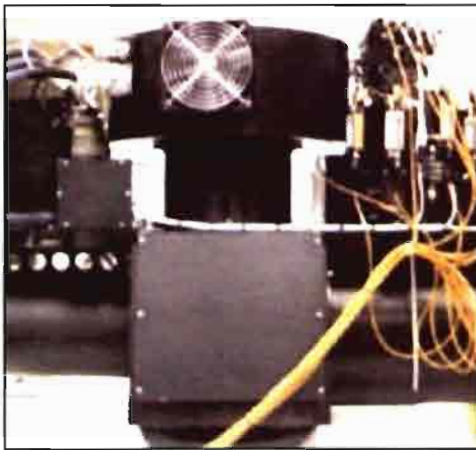
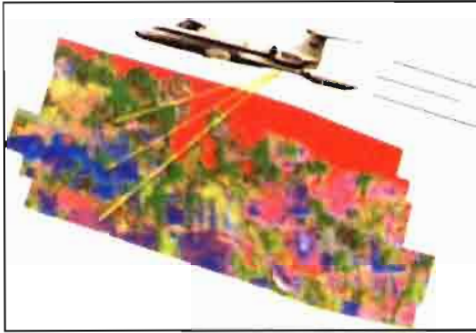
En bio-mecatrónica es posible realizar una clasificación de los distintos dispositivos existentes en función del sector agrícola al que están dirigidos:

Bio-mecatrónica en Mecanización Agrícola

Tractores: guiado automático mediante: trazadores ópticos combinados con dispositivos geomagnéticos –E– (IAM-BRAIN, Japón; Murase 2000), sistema de visión combinado con GPS –E– (Universidad de Illinois, USA), y emisores-receptores de radar –E– (ENSAM, Francia; Universidad de Regina, USA). Sensores gravitacionales de inclinación (Sevilla y Baylou, 1991)



Abonadora suspendida equipada con un sensor Hidro-N para la fertilización diferencial de acuerdo con las necesidades de cultivo. Este sensor Hidro-N puede instalarse en diversos equipos comerciales. Vicon y Hardi entre otros, para la realización de abonado de precisión.



Dispositivo para determinaciones remotas basado en la emisión visible e infrarroja de los cultivos. Abajo: escáner ATLAS (USA).

como sistema de seguridad contra vuelco en los tractores -E-.

Laboreo: ajuste dinámico de los cultivadores mediante sensores de las características del suelo -E- (Sevila y Baylou, 1991), sensores de materia orgánica basados en diodos de emisión de luz (LED's) -E- (Universidad de Purdue, USA), chisel con espectrofotómetro para efectuar un seguimiento de la composición de suelo -E- (Murase, 2000). Estos dos últimos aportan una nueva aproximación en agricultura de precisión basada en el montaje de sensores, en contraste con la más conocida basada en mapas.

Siembra y trasplante: control de fallos en sembradoras de precisión -C- (AMAZONE entre otros), trasplante automatizado con control de fallos -C- (CIRCLE TEKKO).

Abonado: control electrónico de la dosis en función de la velocidad de avance -C- (AMAZONE, BOGBALLE, VICON entre otros), o mediante GPS -C- según mapas de fertilidad (AMAZONE, BOGBALLE, VICON entre otros); células de carga para el pesado dinámico de la tolva -C-; sensores de ángulo para la compensación de pendientes -E-; tratamientos de precisión basados en sensores ópticos (Hydro N sensor, -C-) con comunicación normalizada a casas comerciales más extendidas (Vicon y Hardi entre otros).

Aplicación de fitosanitarios: control de ho-

rizontalidad de las barras de pulverización mediante ultrasonidos -C- (IEMO-HARDI entre otros); localización del producto fitosanitario en cultivos frutales mediante sensores de ultrasonidos -C- (IEMO-HARDI entre otros); control de la dosis mediante GPS -C- según mapas de densidad de malas hierbas; sensores de flujo para monitorización de la carga -E-; sistemas de concentración del caldo proporcional al avance (Cox, 1997 -E-).

Maquinaria de forrajes: sistema de compensación de pendientes en empacadoras rotativas -E- (Bontsema y Van den Top, 2000); detección de metales en cosechadoras (-C-, Claas entre otros).

Cosechadoras: sistemas de flotación de las plataformas de corte mediante ultrasonidos -C- (New Holland entre otros); control de rendimientos de grano en cosechadoras mediante sensores de flujo -C- (John Deere, New Holland entre otros); y guiado automático mediante láser para cabezales convencionales de cereal o palpadores electro-mecánicos en maíz (-C- John Deere entre otros).

Bio-mecatrónica en jardinería

Cortadores de césped p.ej. robomow 2000 -C- (MASTERGARDENING INC.) & mowbot 2000 -E-.

Bio-mecatrónica en Tecnología Postcosecha

Instrumentación de la calidad de los productos en campo y laboratorio (Barreiro y Ruiz-Altisent, 2000): colorimetría -C- (MINOLTA, HUNTERLAB entre otros), espectroscopía (visible: MINOLTA -C-, e infrarroja: COPA TECHNOLOGIE y FANTEC -C*-), firmeza (impactometría LPF-UC, España y USA respectivamente -C-, Resonancia Mecánico-acústica de KU-AWETA -C-, DUROFEL de COPA TECHNOLOGIE -C-, Ultrasonidos de Volcani Centre, Israel -C*- , entre otros).

Selección y clasificación de producto por: peso -C- (FOMESA, MAF-RODA entre otros), calibre -C- (sistemas ópticos: FOMESA; MAF-RODA entre otros), color (imagen RGB: FOMESA, MAF-RODA entre otros), daños externos -C*- (imagen RGB y multiespectral: FOMESA, MAF-RODA entre otros), azúcares (espectroscopía NIR: SACMI y FANTEC -C*-; láser: SUMITOMO METAL MINING), firmeza -E- (LPF-UC, España y USA respectivamente; TECHNION, Israel), jugosidad (rayos X: prototipo de Morita y otros de 1997 -E-), calidad interna (espectroscopía en transmisión -C*-: FANTEC, y resonancia magnética nuclear: -E- prototipo UC, USA -E-).

Frutos electrónicos: dispositivos para la determinación de impactos en líneas de clasificación -C- (TECHMARK INC. entre otros).

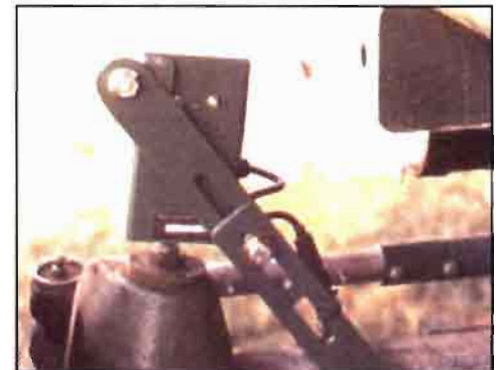
Bio-mecatrónica en Producción Ganadera

Sensores para la identificación y supervisión de los animales -E- (IMAG, Países Bajos y SRI, Gran Bretaña, entre otros).

Líneas automatizadas para la clasificación de huevos -C- (OVOTEC INTERNATIONAL entre otros).

Ordeñadores automáticos con sensores de ultrasonidos para la evaluación de la calidad de la leche -E- (IMAG, Países Bajos).

Determinación en vivo con ultrasonidos: de la preñez -C- (RENCO), de la calidad de la carne (Universidad de Massachusetts, USA) -E- y del peso y volumen de peces en piscifactorías -E- (SRI, Gran Bretaña y Volcani Centre, Israel).



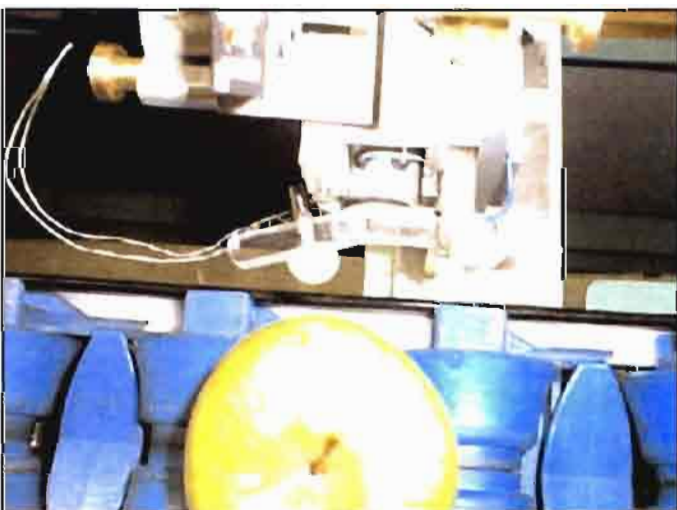
Dispositivo para guiado automático apto para montaje sobre tractor o máquina autopropulsada (Southwest Tractor Inc. USA).



Espectroscopia de reflectancia NIR (infrarrojo cercano) en línea para la estimación de sólidos solubles (azúcares) comercializado por la empresa Compac.

Bio-robotica

La Bio-robotica es un apartado de la Biomecatrónica que implica la utilización de brazos robotizados, es decir, de manipuladores programables multi-función de alta precisión (hasta +0.1mm); un parámetro que valora la complejidad del manipulador es el nº de grados libertad (DOF). Conjuntamente con el/los brazos robotizados es imprescindible la utilización de equipos de detección, microprocesadores y algoritmos de decisión complejos, así, los sistemas de visión son una herra-



Determinación en línea de la firmeza por impacto (LPF-UC España y ISA respectivamente).



Espectrofotómetro de sobremesa para la detección no destructiva de azúcares en fruta de la casa Fantec.

mienta típica de detección en bio-robotica. Los robots móviles exigen la incorporación de sistemas de guiado automático. En invernadero se conoce para el guiado automático el empleo de ultrasonidos combinados con sensores de proximidad (Murase. 2000), o el movimiento autónomo sobre raíles (IMAG, Países Bajos).

En el desarrollo de un robot agrícola resulta fundamental el conocimiento de la conformación de las plantas: número y posición de los frutos o infrutescencias, y posibles obstáculos y oclusiones, que interfieren con el planeamiento de la trayectoria y el sistema de detección. En muchas ocasiones hay que plantear modificaciones en el sistema de cultivo para favorecer la mecanización, por ejemplo la eliminación de elementos oclusores o aumento del marco de plantación para favorecer el paso de un vehículo. En el caso de considerar la recolección de algún órgano vegetativo hay que diseñar cuidadosamente el sistema de desprendimiento (tracción, torsión, cizalladura /corte o térmico), y de sujeción (neumático o mecánico) del producto una vez cosechado.

En la literatura hay descritos desarrollos de robótica en la agricultura desde mediados de los años 80 (Sevilla y Baylou, 1991) aunque la mayoría de ellos permanecen en estado de prototipo. La Bio-robotica está altamente desarrollada en Japón con prototipos operativos para actividades en diversos cultivos: tomate, pepino, uva, crisantemo. Esto es debido a varias causas, entre otras:

1) a una amplia tradi-

ción en robótica (en los años 80 existían 10.000 robots industriales en Japón frente a 3000 en los Estados Unidos).

2) al elevadísimo precio de los productos agrícolas en este país.

3) al desarrollo de una agricultura ultra-intensiva (desarrollo de fábricas de plantas -Plant Factories- que vienen a sustituir el concepto de invernaderos).

La aparición de compañías comercializadoras de brazos robotizados p.ej. MITSUBISHI con toda seguridad favorecerá la incorporación de este tipo de dispositivos en el ámbito de la mecanización agrícola.

Podemos establecer, al igual que en el caso anterior, una clasificación de los robots existentes en función del ámbito agrario de aplicación:

Bio-robotica en cultivos al aire libre

Poda: robot de poda para viñedos en espaldera -E- desarrollado por los Institutos de Investigación SRI (Gran Bretaña) y CEMAGREF (Francia). Va más allá del concepto de pre-poda ya que es capaz de seleccionar las yemas.

Recolección: un ejemplo tipo es el robot citrus -E- desarrollado de forma conjunta por la empresa PELLENC (Francia), y los Institutos de Investigación CEMAGREF (Francia) e IVIA (España). Existen otros desarrollos más experimentales para la recolección de manzana y espárrago (Sevilla y Baylou, 1991), y el robot Agribot para la recolección de cítricos -E- (IAI, España) cuyo sistema de detección está basado en imágenes de telemetría láser en contraste con el sistema de visión más tradicional del Citrus.

Multi-función: ésta es la línea más actual en el desarrollo de robots. Así por ejemplo la Universidad de Negev (Israel) dispone de un robot para aire libre en cultivos de melón capaz de trasplantar, podar, aplicar tratamientos fitosanitarios y recolectar -E-.

Bio-robotica en invernadero

Injerto: prototipo de robot para el injerto de rosales -E- desarrollado a lo largo del Proyecto Europeo EUREKA ROSAL (1989-1991) de forma conjunta por la empresa francesa PELLENC y los Institutos de Investigación: CEMAGREF (Francia) e IVIA (España). También existe un prototipo para el injerto de cucurbitáceas y solanáceas -E- (IAM-BRAIN, Japón) ya que la producción en invernadero de estos cultivos en Japón se basa en el empleo de plantas injertadas.

Trasplante: robot trasplantador para cri-

santemos -C- (LASE, Japón).

Recolección: de champiñón -E- (SRI, Gran Bretaña), de pepino -E- (IMAG, Países Bajos y LASE, Japón); equipos que difieren básicamente en la forma de abordar el sistema de visión y el elemento de corte o *end-effector*, tomate y tomate tipo cherry, fresa -E- (LASE, Japón).

Multi-función: especialmente preparado para uva en espaldera -E- (LASE, Japón)

Bio-robótica en Tecnología Post-cosecha:

Selección y clasificación de producto: el robot SHIVA -E- desarrollado en conjunto por las empresas: PELLENC (Francia), SYFA (Italia) y FOMESA (España), y los Institutos de Investigación: CEMAGREF (Francia) e IVIA (España).

Bio-robótica en Producción Ganadera:

Esquilado: *Sheep Shearing Robot* -E- (UWA, Australia).

Ordeño: robots capaces de adaptar las copas de succión a las vacas de forma autónoma además de hacer determinaciones dinámicas de la calidad de la leche y de la presencia de mastitis. Existen varios equipos comerciales: TE STRAKE -C-, Países Bajos, y ROBOTIC MILKING.COM, Canadá.

Robots cortadores de carne (Universidad de Arkansas, USA) -E-: esta es un área en expansión dado lo arduo y peligroso del trabajo tanto en mataderos como en grandes superficies.

Hasta aquí una pequeña revisión del presente y el futuro inmediato de la Bio-mecatrónica que esperamos ayude a vislumbrar las posibilidades de esta área de la Mecanización Agraria. La descripción pormenorizada de cada uno de estos equipos se abordará en artículos específicos. ■

GLOSARIO DE INSTITUCIONES MENCIONADAS

- CEMAGREF: Centre Nationale du Machinisme Agricole, des Genies Rural, des Eaux et des Forets (Francia).
- ENSAM: Ecole Nationale Supérieure de Agronomie a Massy (Francia).
- KU: Katholieke Universiteit Leuven (Bélgica).
- IAI: Instituto de Automática Industrial (España).
- IAM-BRAIN: Institute of Agricultural Machinery, Bio-oriented technology Research Advancement Institution (Japón).
- IMAG: Instituut voor Milieu en Agritechniek (Países Bajos).
- IVIA: Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (España).
- LASE: Laboratory of Agricultural Systems Enginee-



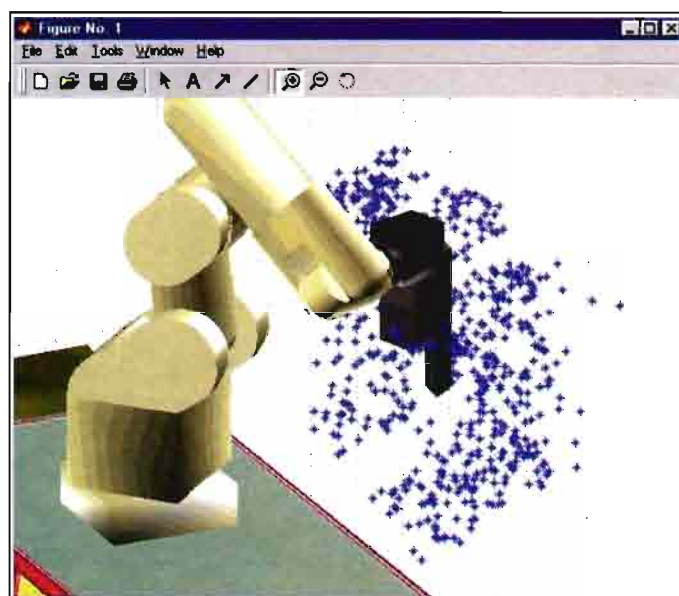
Izquierda: ROBOMOW cortador de césped. Dispone de un cargador solar de baterías. Es autónomo y está diseñado para trabajar sin supervisión. Prototipo desarrollado por Ken Reed.
Derecha: Robot del IMAG trabajando en el invernadero.

ring (Japón).

- LPF: Laboratorio de Propiedades Físicas de la ETSI Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid (España).
- SRI: Silsoe Research Institute (Gran Bretaña).
- TECHNION: Israel Institute of Technologie (Israel).
- UC: University of California, Davis (USA).
- UWA: University of Western Australia (Australia).

BIBLIOGRAFÍA

- Matthews J (Chairman). 1988. Computers and electronics. Session 5 in the book Engineering Advances for Agriculture and Food. Edited by S.W.R. Cox Butterworths & Co. Ltd. ISBN 0 408 03333 9 pp: 319-386.
- Auernhammer H. 1989. Electronic in Traktoren und Maschinen. Ed Verlag Sunion Agrar. ISBN 3 405 13618-0.
- ASAE. 1990. Food Processing Automation. ISBN 0 929355 06 7.
- Sevilla F and Baylou P. 1991. The principles of Robotics in Agriculture and Horticulture. Chapt. 5 of the book Progress in Agricultural Physics and Engineering Ed. John Matthews CAB International. ISBN 0 85198 705 2 pp: 119-148.
- Juste F (Editor). 1993. Section 4. Robotic and Sensors for harvesting. Proceeding of the IV International Synposium on Fruit, Nut and Vegetable Production Engineering. ISBN 84 7498 436 X.
- Cox S.W.R. 1997. Measurement and Control in Agriculture. Ed Blackwell Science. ISBN 0 632 04114 5.
- NRAES. 1997. Sensors for Nondestructive Testing. Proceedings for Nondestructive Sensing International Conference and Tour, Orlando, Florida.
- Kondo N. and Ting N.C. (editors). 1998. Robotics for Bio-production Systems. Edited by ASAE ISBN 0 929355 94 6.



Modelo 3D del robot para recolección de pepino desarrollado por IMAG (Países Bajos). Se ha empleado para desarrollar algoritmos de planeamiento de la trayectoria. El sistema de visión ha de aportar las coordenadas respecto al centro coordenado del brazo de los objetivos (frutos) y de los obstáculos (puntos azules).

- Murase H. 2000. Biomechatronics for Agro-Industrial applications. International Conference on Modelling and Control in Agriculture 10-12th July, Wageningen, The Netherlands.
- Bontsema & Van den Top M (Editors). 2000. Bio-Mechatronics. Proceedings of the International Conference held in Wageningen 1st November 2000. Nota P 2000-72.
- CIGR. 2000. Proceedings of the XIV Memorial CIGR World Congress. Tsukuba, Japan.
- Green House mechanization (2nd session). 2001. International workshop on greenhouse and crop engineering (17 comunicaciones). Pizzomunovieste. Italy. September 2001.
- Barreiro, P.; Ortiz-Cañavate, J. 2001. Robots de ordeño y sistemas AMS. Mundo Ganadero, nº 137, pp: 54-59.
- Barreiro, P. 2001. Robots de invernadero. Phytoma, nº 133 pp:33-38.
- Diversas páginas Web relativas a los organismos mencionados en este artículo.